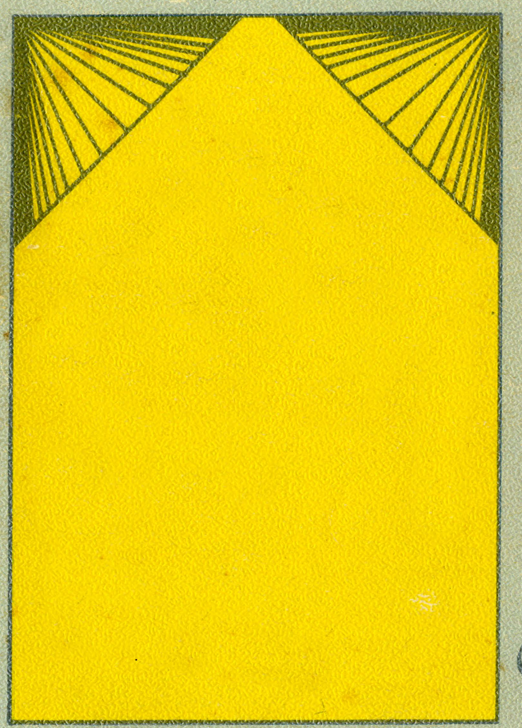
المشروعات بتوزيع القوى الكهربية

الإضاءة



دكتور
آسر علي زكي
أستاذ مساعد القوى الكهربية

دكتور
حسن الكموشي
أستاذ مساعد الاتصالات الكهربية

كلية الهندسة
جامعة الإسكندرية

الناشر منشأة المعارف بالإسكندرية
جلال حزي وشركاه



دكتور
آسر على زكى
أستاذ هندسة القوى الكهربية

دكتور
حسن الكمشوشى
أستاذ هندسة الاتصالات الكهربية

كلية الهندسة - جامعة الاسكندرية

١٩٨٦

الناشر منشأة المعارف بالاسكندرية
جلال حزى وشركاه

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

هذا هو الكتاب الثالث فى مجموعة أسس شبكات توزيع القوى الكهربية ويتناول موضوع الاضاءة الكهربية • ورغم صغر كمية الطاقة الكهربية المستخدمة فى أغراض الاضاءة بالنسبة للطاقة المستخدمة فى الاغراض الاخرى الا أنها تمثل حملا حيويا بالنسبة لمنظومات التوزيع الثانوية • ومما لا شك فيه أن أهمية الاضاءة فى حياة الانسان ليست فى حاجة الى تأكيد •

تعتبر الاضاءة فى كثير من بلدان العالم نوع من فروع الهندسة لها جمعياتها المتخصصة مثل جمعية هندسة الاضاءة Commission International de l'Eclairage - CIE وهيئاتها الدولية مثل الهيئة الدولية للاضاءة Illumination Engineering Society-IES • وعلى الرغم من أهمية هذا المجال فانه لا يلقى دائما القدر الكافى من الاهتمام الجدير به فى المناهج الهندسية • وقد وضع هذا الكتاب لتغطية النقص الواضح فى المراجع والكتب التى تتناول هذا الموضوع باللغة العربية وهو موجه الى مهندسى الكهرباء والعمارة الذين عادة ما تلقى على عاتقهم مسئولية تصميم الاضاءة فى شتى المجالات •

ولاشك أن تغطية موضوع الاضاءة تغطية شاملة قد يتطلب عدة مجلدات نظرا لتشعبه وكثرة تطبيقاته • ولذلك تم وضع هذا الكتاب ، فى حجمه الحالى ، لتزويد القارىء بقاعدة كافية للالمام باسس تصميم الاضاءة الداخلية والخارجية وتمكنه من استيعاب ومتابعة المراجع الاكثر تخصصا فى هذا الموضوع • وجدير بالذكر أن الاضاءة الداخلية ترتبط ارتباطا وثيقا بالنواحى المعمارية والجمالية للمساحة أو الحيز الذى يراد اضاءته • ولم نتصدر لهذه

النواحى فى هذا الكتاب حيث أن هذا هــو موضوع كتاب «الاضـــاءة داخل المبانى» للاستاذ الدكتور يحيى حمودة (دار المعارف ١٩٨٤) ٠

يقدم الفصل الاول نبذة عامة عن الخواص الطبيعية للضوء تتضمن مقدمة مبسطة عن الالوان٠ويحتوى الفصل الثانى على تعريف المصطلحات والوحدات والقوانين الاساسية المستخدمة فى الاضاءة وذلك باستعمال النظام العـالمى للوحـدات ٠

ويتناول الفصل الثالث وصفا وافيا لانواع المصابيح المختلفة وخصائصها والتى تستخدم لغـرض الانارة ٠ وجدير بالذكـر أنه منذ اختراع المصبـاح المتوهج فى عام ١٨٧٩ ومصابيح الزئبق والصوديوم عام ١٩٢٠ ثم المصابيح الفلورية عام ١٩٤٠ لـم تكل مصانع المصابيح من بذل الجهـود المستمرة فى البحوث والدراسـات التى أدت الى انجـازات كبيرة وتطـورات هـائلة فى تكنولوجيا صناعة المصابيح والمواد المستخدمة بها بحيث أمكن رفع كفاءتها واطالة عمرها وتحسين أمانتها لنقل الالوان ٠

وقد أفرد الباب الرابع لمبادىء الاساسية لتصميم الاضاءة الداخلية فهو يزود القارىء بطرق تصميم الاضاءة والخطوات التى يجب اتباعها الحصول على مستوى معين من الاضاءة ٠ وأيا كان نظام الاضاءة فى مكان معين ، فلابد لهذا النظام أن يوفر الراحة النفسية والفسيولوجية للمشاهد سواء كان هـذا المكان مخصصا للقيام بأعمـال بصرية معينة تتطلب درجـة عـالية من الدقة والعناية ، أو كان هذا المكان مخصصـا لتواجد الافـراد لاغراض ترفيهية أو معيشية مختلفة ٠

ويتعرض الباب الخامس لموضوع اضاءة الشوارع ٠ ورغم صعـوبة هذا الموضوع الا أننا حاولنا أن نقدم للقارىء المبادىء الاساسية التى تمكنه من فهمه وتقـدير أهميته وتؤهله لمتابعـة وجهـات النظـر المختلفة والمواصفات القياسية الدولية والعالمية والمراجع التخصصية ٠

وقد أدرجنا فى نهاية الكتاب قـائمة بالمراجـع التى يمكن الرجوع اليها والتى استخدمناها فى اعداد الفصول المختلفة ٠

ونود فى النهاية أن نقدم الشكر لمنشأة المعارف التى قامت بنشر هـذا الكتاب وللمطبعة الفنية بالاسكندرية والعاملين بها لما قاموا به من مجهـود لاظهاره على هذه الصورة ٠

والله ولى التوفيـق

الاسكندرية فى أكتوبر ١٩٨٥

د٠ آسر عـلى زكى

د٠ حسـن الكمشوشى

محتويات الكتاب

الفصل الاول

الخواص الطبيعية للضوء

الفصل الثانى

وحـدات ونظم الاضاءة

الفصـــل الثالث

المصـــابيح الكهـــربية

الفصـــل الرابع

الاضـــاءة الداخــلية

الفصل الخامس

اضـاءة الشوارع

الفصل الأول

الخـــواص الطبيعيـــة للضـــوء

1.1 مقـــــدمة :

يقــال ان الانطباع الاول هـــو انطباع رؤية وعند التمعن والتفحص فى الاشياء تستخدم الانطباعات الاخـــرى • فنحن نرى دقائق الاشياء فى لحظة بسيطة باستخدام حــاسة البصر فى حين أن حــواس السمع واللمس والشم لاتعطى المخ تفاصيل دقيقة عما يحيط بالانسان فنظرة خاطفة لصورة ما قد تترك أثرا أو انطباعا فى المخ كبيرا جدا اذا ما قــورن بالاثر الذى يتركه وتر رنان مثلا • أما بالنسبة الى كيف نرى وما هى الاشياء التى نراها فما هى الا عملية انتقال الطاقة•وقد فسرها الاقدمونتفسيرا خاطئا فى بعض الاحيانمثلما فعل الرومان والهندوس عندما فسروا رؤية الاشياء على أنها انتقال حزمة من الطاقة من عين الانسان الى الاشياء التى ينظر اليها وتلى ذلك تفسيرا آخر هو انتقال الطاقة الضوئية من الاشياء المراد رؤيتها الى العين عن طريق وسط مرن أطلق عليه اسم الاثير وهناك تفسيرات أخرى مفادها أن الاشعاع الضوئى ما هو الا مــادة لها كتلة سكــون منعدمة تنتشر بسرعة مقـــدارها 2.998×10^8 متر لكل ثانية وتؤثر فى العين فتسبب رؤية الاشياء •

2.1 الخواص الموجية للاشعاع المرئى :

هناك نظريتان حديثتان تفسران انتقال الطاقة الضوئية من مكان الى آخر• النظرية الاولى وترجع الى هيجنز (Huygens) وفيها يفترض وجــود الاثير حيث تحدث به اجهادات مرنة تتسبب فى التوتر الموجى للضوء • هذا التوتر الموجى ينشأ عنه اهتزازات تنتقل فى الاثير فى كل الاتجاهات مثل التموجــات الصوتية • أما النظرية الثانية فترجع الى نيوتن (Newton) وتعتبر أن الضوء ما هو الا جسيمات تتحرك فى خطوط مستقيمة • وقد استمر الاخــذ بنظرية

نيوتن حتى القرن التاسع عشر عندما لم تستطع هذه النظرية أن تفسر ظواهر التداخل والتناثر والتى كانت معروفة منذ القرن الثامن عشر وكذلك لم تستطع تفسير أن سرعة الضوء فى الماء أصغر من سرعته فى الفراغ • لم تواجه النظرية الموجية أى صعوبة الا فى تحديد طبيعة مادةالاثير نفسها وكيفية تذبذبها المرن• وبالرغم من ذلك فقد قفزت النظـــرية الموجية قفزة هائلة عندما ظهرت نظرية ماكسويل لطبيعة انتشار الموجــات الكهرومغناطيسية حيث برهنت أن التردد الزمنى الدورى للمجـــالات الكهربية والمغناطيسية ينتشر بسرعة مقدارهـــا 2.998×10^{8} متر لكل ثانية وعلى ذلك فالتموجـــات الضـــوئية مـــا هى الا موجات كهرومغناطيسية تنقل معهـــا الطاقة فى نفس الاتجاه وترتبط بسرعة الضـــوء c بطول الموجة λ والتردد f بالعلاقة الاتية

$$c = \lambda f \qquad (1 - 1)$$

حيث التردد f هو عدد الموجات التى تمر بنطقة معينة ثابتة فى الثانية الواحدة • ولايتغير التردد بتغير طبيعة الوسط الذى ينتشر خلاله الضوء• فنجد أن أى تغير فى سرعة الضوء فيه يصاحبه تغير فى طول الموجة λ **بحيث يظل** التردد ثابتا • ويلاحظ أنه بالرغم من ثبات التردد الا أن التجارب العملية على الضوء تحبذ قياس طول الموجة وذلك عند اجراء التحليل الطيفى فى الاوســاط المختلفة •

3.1 الطبيعة الكمية للضوء :

لم تستطع النظرية الموجية للضوء تفسير الاشعاع الحرارى المنبعث من جسم ســـاخن وكيفية توزيع الطيف الترددى له • وبنـــاء عليه تمكن بلانك (Planck) من وضع نظرية تنص على أن الضـــوء ما هـــو الا كمـــات مميزة من الطاقة وأن هذه الكمات ليست متساوية بالنسبة للاجسام المشعة المختلفة ولكنها تتناسب طرديا مع التردد υ .

الطاقة الضوئية فى كل كمة هى

$$E = h \upsilon \qquad (2 - 1)$$

حيث h هو ثابت بلانك ويعطى بالمقدار 6.626×10^{-34} جـــول ثانية •

وقد سميت هذه الكمات من الطاقة بالفوتونات • وتمكنت نظرية بلانك الكمية من تفسير عديد من الظواهر التى منها الظاهرة الفوتوكهربية وبعض الظواهر الكيميائية والحيوية الضوئية • والفوتونات تعامل معاملة الاجسام حيث تعرف كتلة الفوتون من المعادلة •

$$mc^2 = h\nu \qquad (3-1)$$

$$m = h\nu/c^2 \qquad (4-1)$$

وبناء على ما تقدم يمكن اعتبار أن نظرية بلانك لانتشار الضوء هى نظرية جسيمية جديدة لطبيعة انتشار الضوء وخواصه ومبنية أساسا على النظرية الموجية • وقد استطاعت هذه النظرية تفسير كثير من الظواهر فى طبيعة البصريات والمرئيات مثل التداخل والاستقطاب • ومنذ ذلك الحين أمكن تفسير كل الظواهر الضوئية باستخدام النظريات الموجية فى بعض الاحيان والنظرية الكمية فى أحيان أخرى •

4.1 المدى المرئى من الطيف الكهرومغناطيسى

يقع مدى التردد المرئى فى الطيف الترددى الكهرومغناطيسى حيث نبدأ من الاشعة دون الحمراء بطول موجى ملليمتر واحد حتى 0.78 ميكرومتر يليه الاشعاع المرئى بطول موجى من 0.78 ميكرومتر حتى 0.38 ميكرومتر ويلى ذلك الاشعاع ما فوق البنفسجى بطول موجى من 0.38 ميكرومتر حتى 0.01 ميكرومتر • ويطلق اسم المدى البصرى على كل المدى الموجى من ملليمتر واحد حتى 0.01 ميكرومتر وذلك بسبب تشابه طرق توليد وتحويل هذه الموجات عمليا • ويحتوى هذا المدى على خمسة عشر ثمانيا (Octave) والثمانى الواحد هو مدى ترددى نسبة أعلى تردد له الى أقل تردد كنسبة 2 : 1 ويلاحظ أن المدى المرئى يحتوى على ثمانى واحد فقط • ويحتل الاشعاع دون الاحمر حوالى عشرة ثمانيات وفيه تتراوح طاقة الفوتون بين 2×10^{-22} جول كحد أدنى و 2.5×10^{-19} جول كحد أقصى ويمكن اكتشاف وجود الاشعة دون الحمراء عن طريق تأثيرها الحرارى •

وتستخدم الاشعة دون الحمراء للتجفيف والتسخين وفى التكثيف الصورى الذى يمكن الانسان من رؤية الشىء فى ضوء خافت جدا وذلك بتحويل الاشعة

دون الحمراء المشعة منه الى أشعة مرئية • أما الاشعة مافوق البنفسجية فطاقتها أكبر من طاقة الاشعة دون الحمراء أو الاشعة المرئية نظرا لارتفاع ترددها • وقد لوحظ أن كل جسم ذات درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق له اشعاع وعلى ذلك هناك تبادل اشعاع بين الاجسام المختلفة المتاخمة لبعضها •

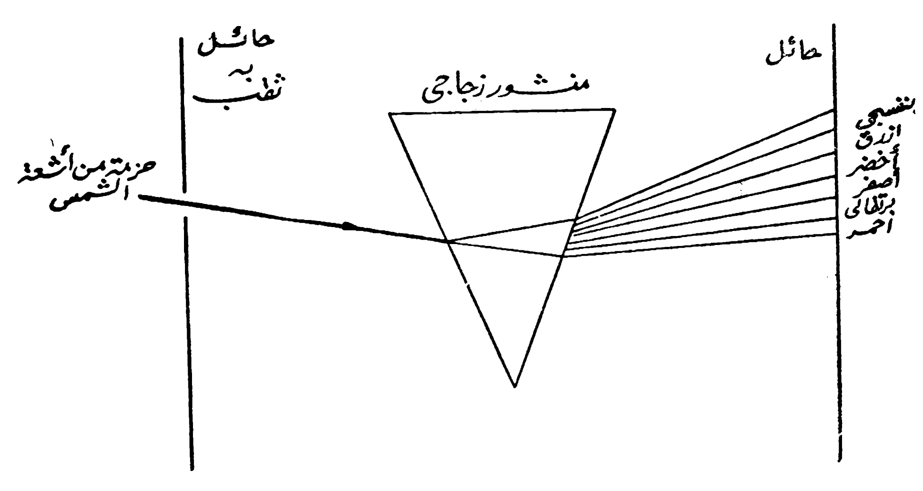
وينقسم المدى المرئى للضوء الى ستة مناطق أو أقسام شكل (1 — 1) كل منها له تأثير ذات لون على عين الانسان :

فوق البنفسجي | بنفسجي | أزرق | أخضر | أصفر | برتقالى | أحمر | تحت الأحمر

3500 4000 4500 5000 5500 6000 6500 7000 7500

3800 — 4360 A⁰	(violet)	بنفسجي
4360 — 4950	(blue)	أزرق
4950 — 5660	(green)	أخضر
5660 — 5890	(yellow)	أصفر
5890 — 6270	(orange)	برتقالى
6270 — 7800	(red)	أحمر

شكل 1 — 1 المدى المرئى فى الطيف الكهرومغناطيسى



شكل 1 — 2 تحليل الضوء بواسطة منشور زجاجى

ويلاحظ أن اللون الاحمر له أكبر مدى ترددى وأن أصغر مدى هـو اللـون الاصفر ويمكن مشاهدة هذه الالوان (وهى معروفة بألوان الطيف المرئى) بوضع منشور زجاجى فى مسار حزمة ضوئية من أشعة الشمس كما هو مبين بشكل (1 — 2) .

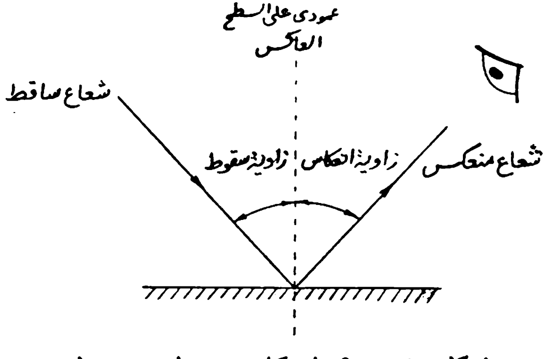
5.1 الخواص الضوئية للمواد

أ) الانعكاس

الانعكاس هـو ارتداد الاشعاع بواسطة سطح بدون أى تغيير فى تردد الموجـات • وعندما ينعكس الضـوء نجد أن نسبة منه قد فقدت عن طريق امتصاص السطح له • وتسمى نسبة الفيض الضـوئى المنعكس الى الفيض الكلى الساقط بالانعكاسية (reflectance) وقد لوحظ عمليا أنه عند سقـوط الضوء عموديا على لوح من الزجاج الابيض الشفـاف ينعكس جزء منـه على السطح العـلوى لهذا اللوح وجـزء على السطح السفلى وتبلغ نسبة الضـوء المنعكس من هذين السطحين حوالى 4% من الضوء الساقط • وتزداد هـذه النسبة بزيادة زاوية السقوط على اللوح •

ب) الانعكاس المنتظم من سطح

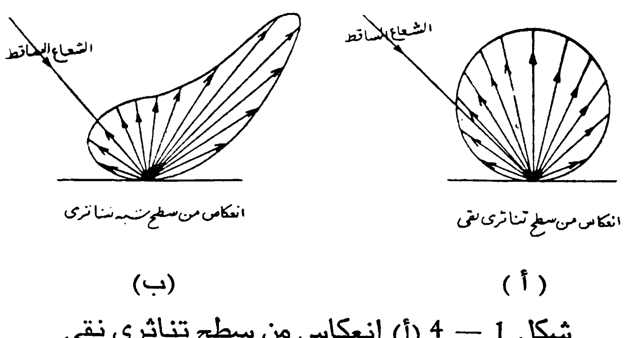
يتم هذا النوع من الانعكاس على الاسطح اللامعة حيث يكون كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح من نقطة الانعكاس فى مستوى واحد • وزاوية السقوط مساوية لزاوية الانعكاس كما هو مبين فى الشكل (1 — 3) • وتعطى الاشعة المنعكسة صورة للشىء المنعكس عـلى هذا السطح ويسمى السطح ذات الخاصية التى ذكرناها بالمرآة • والمواد التى لها هذه الخاصية هى الالومنيوم ، الكروم ، الذهب ، الفضة والزجاج أو البلاستيك المفضض •



شكل 1 — 3 انعكاس منتظم من سطح

ج) الانعكاس الغير منتظم

فى هذه الحالة تكون الاسطح خشنة أو مدهونة بجزئيات عاكسة مثـل الاسطح البلورية وفى هذه الانواع من الاسطح يعمل كل جزء من هذه الجزئيات عمل مرآة منفصلة وتكون المرايا العديدة التى يتكون منها السطح واقعة فى مستويات ذات ميول مختلفة عن بعضها مما يؤدى الى وجود اتجاهات عـديدة للاشعة المنعكسة كما هو مبين فى شكل (1 — 4 أ) • ومن أمثلة هـذه المواد الورق الابيض والجليد وأسقف الجبس • وتستخدم هـذه المواد أو بعضها فى صناعة العواكس فى الفوانيس التى لها نماذج ضيائية ذات زوايا كبيرة ويقال أن الانعكاس فى هذه الحالة هو انعكاسا تناثريا نقيا •



شكل 1 — 4 (أ) انعكاس من سطح تناثرى نقى
(ب) انعكاس من سطح تناثرى شبه نقى

د) الانعكاس المختلط

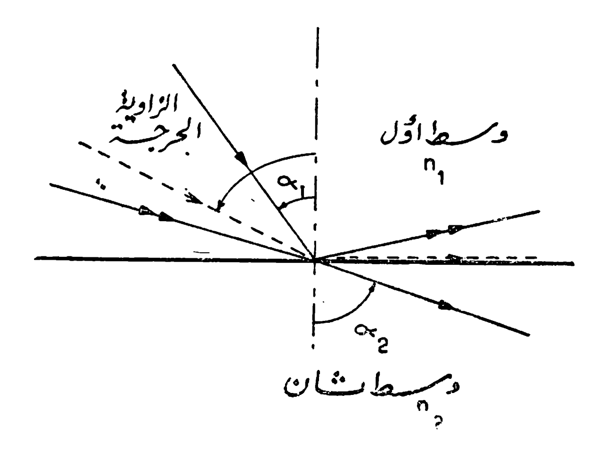
فى هذه الحالة يكون جزء من الطاقة الضوئية المنعكسة منتظما والجــزء الاخر غير منتظم مثال ذلك اذا غطينـا مـادة انعكاس غير منتظم بطبقة من الورنيش فان السطح الناتج يعمل كسطح عاكس منتظم للاشعة الساقطة بزوايا كبيرة وسطح غير منتظم للاشعة الساقطة بزوايا صغيرة (أنظر شكل 1 - 4 ب)

هـ) الانعكاس الكلى

الانعكاس الكلى أو ما يعرف فى بعض الاحيان بالانعكاس الداخلى هو نوع خاص من الانعكاس المنتظم ويحدث عند أسطح المواد الشفافة مثل الزجاج والماء والبلاستيك عندما تكون هذه الاسطح لامعة ومصقولة وعندما تكون زاوية سقوط الاشعة أكبر من حد معين يعرف بالزاوية الحرجة•فاذا سقط الشعاع الضوئى بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة فانه ينعكس ويرتد للوسط الذى سقط منه كما هو مبين فى شكل (1 — 5)

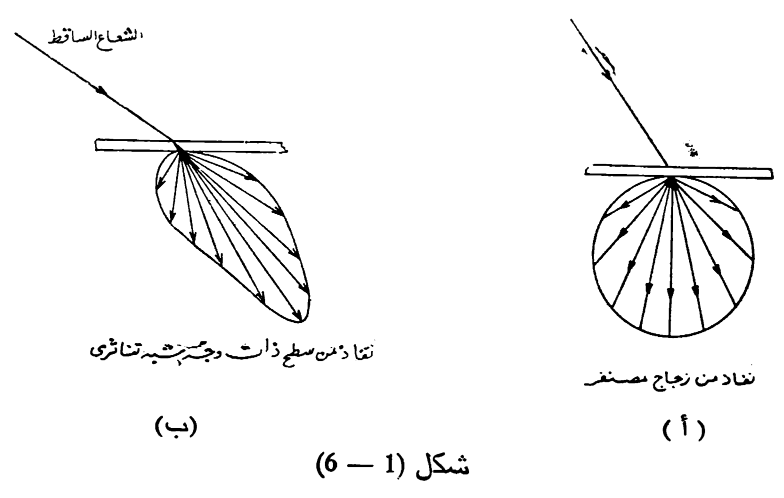
و) النفـــــاذ

نفاذ الضوء هو مروره من وسط معين بدون تغيير فى تردده ويحـدث عند



شكل 1 — 5 انكسار الضوء

مرور الضوء فى بعض أنواع الزجاج والبلورات والماء وبعض السوائل ويلاحظ أنه عند نفاذ الضوء من وسط ما يصحبه بعض الفقد • وتسمى النسبة بين كمية الضوء الساقط وكمية الضوء النافذ بمعامل النفاذ للمـــادة التى يسقط عليها الضوء • وقد يكون النفاذ تناثرى نقى أو شبه نقى كمـا هـو مبين فى شكل (1 — 6 أ ، ب)



(ب) (أ)

شكل (1 — 6)

(أ) النفاذ من سطح تناثرى نقى ، (ب) النفاذ من سطح شبه تناثرى

ز) الانكســـار

عند سقوط الضوء على وسط له سمك معين ونفاذه من الناحية الاخرى نجد أن هناك تغيرا فى اتجاه الشعاع الخارج كما هو مبين فى الشكل (1 — 5). والسبب فى ذلك هو اختلاف سرعة الضوء فى هذه المادة عن سرعته فى الهواء • ويعرف التغير فى اتجاه الاشعاع بالانكسار ويمكن تحديد زوايا الانكســـار باستخدام قانون ســنل (Snell)

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 \qquad (5 — 1)$$

حيث n_2 , n_1 هما معاملا الانكسار للوسط الاول والثانى على الترتيب α_1 زاوية السقوط و α_2 زاوية الانكسار • واذا كان الوسط الاول هواء $(n_1 = 1)$ تصبح العلاقة السابقة

$$\sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 \qquad (6 — 1)$$

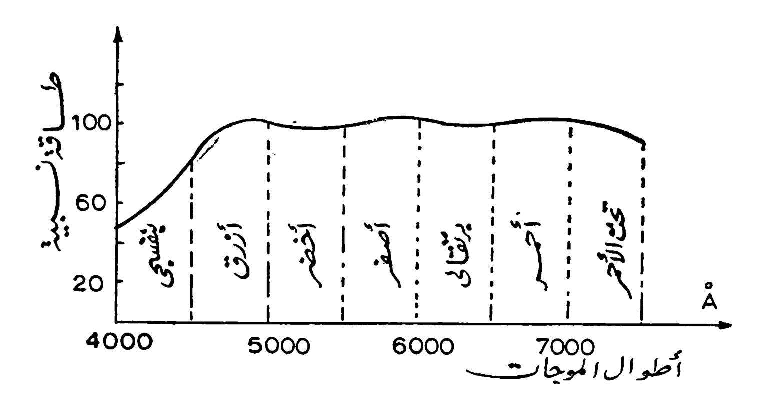
وتستخدم ظاهرة الانكسار فى المنشورات والعدسات وفى الآلات البصرية • ومن قانون سنل يتضح أن الشعاع المنكسر يقترب من العمودى على السطح اذا كـــان $n_2 > n_1$ ويبتعد عنه اذا كان $n_1 > n_2$

6.1 الالـــوان

تعتبر مسألة تحديد ألوان الاجسام أو ألوان الضوء من المصـــابيح الملونة من المسائل المعقدة • فهى ليست مسألة فيزيائية فحسب بل تعتمد على حيوية ونفسية الشخص المشاهد • فمن الناحية الفيزيائية يتكون الضوء المرئى من موجات كهرومغناطيسية كما ذكرنا • فاذا تغير تردد هذه الموجات فان احساس العين يتراوح مع ازدياد التردد من الاحمر عند أقل تردد مرئى الى البرتقـــالى فالاصفر فالاخضر فالبنفسجى عند أعلى تردد مرئى • وعند تجميع هذه الالوان بنسب متساوية تقريبا يبدو الضوء أبيض أو رمادى اللون • وتحتوى المصادر الطبيعية للاشعاع مثل الشمس وبعض المصادر الصناعية مثل فتيـــلة المصباح المتوهج على مركبات لها ترددات ضوئية كثيرة • فنجد أن الاشعـــاع الضوئى الصادر منها له مدى ترددى مستمر يحتوى كل الترددات المرئية • ويبين شكل (1 — 7) الطيف الترددى الناتج من أشعة الشمس كدالة من أطوال الموجات • وكان نيوتن أول من لاحظ أن الضوء الابيض العادى هو عبارة عن خليط من الالوان وأن الاجسام تظهر بألوان مختلفة لانها تعكس بعض أطوال موجـــات الضوء الساقط عليها أكثر من غيرها • فمثلا عند سقوط أشعة الشمس على جسم

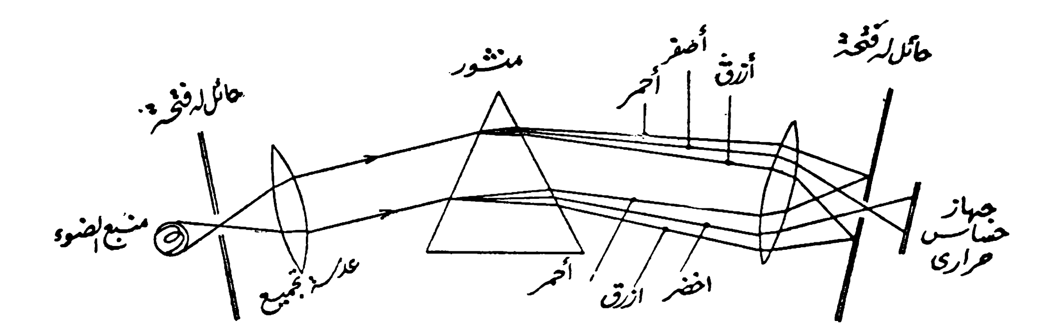
أزرق فانه يمتص موجات جميع الالوان الساقطة عليه عدا اللون الازرق الـذى ينعكس منه ليسقط على شبكية العين فتسبب الاحساس باللون الازرق وهكذا٠

ومنه نستنتج أن الجسم لا يرى بلونه الحقيقى الا اذا أضىء بنفس هـذا اللون أو أضىء بضوء أبيض عـادى ٠ أى أن لون الجسم يعتمد عـلى كيفية انعكاس الضوء الساقط عليه من حيث أطوال موجات هذا الضوء ٠



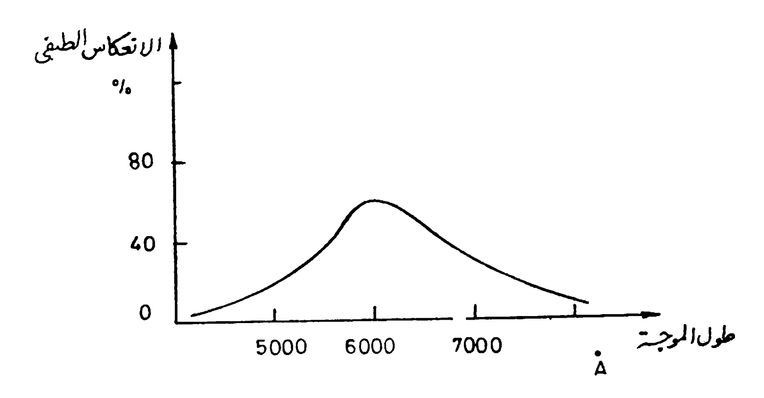
شكل 1 — 7 التردد الطيفى لضوء الشمس

ولقياس الطاقة الضوئية للموجات فى مدى ترددى ضيق يستخدم مايسمى جهاز الاسبكتروفوتومتر (Spectrophotometer) ٠ فى هـذا الجهـاز لا يزيـد المدى الموجى المقاس عن مائة أنجشتروم ويمكن أن يصل الى عشرة انجشتروم فى بعض الحالات ٠ ويبين الشكل (1 — 8) رسما تخطيطيا لهذا الجهاز٠يؤخذ شعاع من المنبع الضوئى باستخدام حائل له فتحة مناسبة ثم يجمع باستخدام عدسة تجميع ويمرر فى منشور مناسب يليه عدسة تجميع أخرى ثم حـائل به فتحة ٠ ويمكن ضبط مكان هذه الفتحة وشكلها بحيث تمر منها كمية من الضوء ذات مدى موجى معين فقط ويوضع خلف هذه الفتحة جهاز حساس مثل البولومتر لتعيين مقدار الطاقة الساقطة عليه فى المدى الموجى المختار ثم يزاح مكان الفتحة للسماح بمرور أطوال موجات أخرى وتكرر العملية ثم ترسم العلاقة بين الطاقة المقاسة وأطوال الموجات للحصول على الطيف الضوئى للمنبع تحت الاختبـار٠ ويمكن استخـدام جهاز الاسبكتروفوتومتر لتحـديد لون جسم معين وذلك باستخدام منبع ضوء قياسى وأخذ حزمة من فتحة الحائل الثانى ثم تقسم هذه الحزمة الى حزمتين تسقط احداهما على عينة من الجسـم المراد معرفة لـونه



شكل 1 — 8 جهاز السبكتروفوتومتر

وتسقط الاخرى على سطح أبيض قياسى له القـــدرة على عكس كل الاشعـة الساقطة عليه • وتحدد نسبة لمعان السطحين باستخدام خلية ضوئية تعمـل فى المدى الموجى تحت الاختبار ثم تكرر التجـــربة لاطوال الموجات الاخرى • ويعطى شكل (1 — 9) نتائج احدى هذه التجارب ومنه يتضح أنه اذا أضيئت هذه العينة باللون الابيض فان اللون الغالب الذى سيظهر يقع فى المنطقة التى لها أعلى استجابة وما حولها أى أن هذا الجسم يكون برتقاليا فى الغالب •



شكل 1 — 9 التردد الطيفى لعينة

ويلاحظ من هذه التجربة أن لون الجسم أمكن تحديده بشرط استخدام طيف ترددى مستمر أو استخدام اللون الابيض العادى ذات الاطوال المستمرة للموجات على مدى التردد المرئى •

7.1 التكافؤ الضوئى والطبيعة الثلاثية الالوان للرؤية

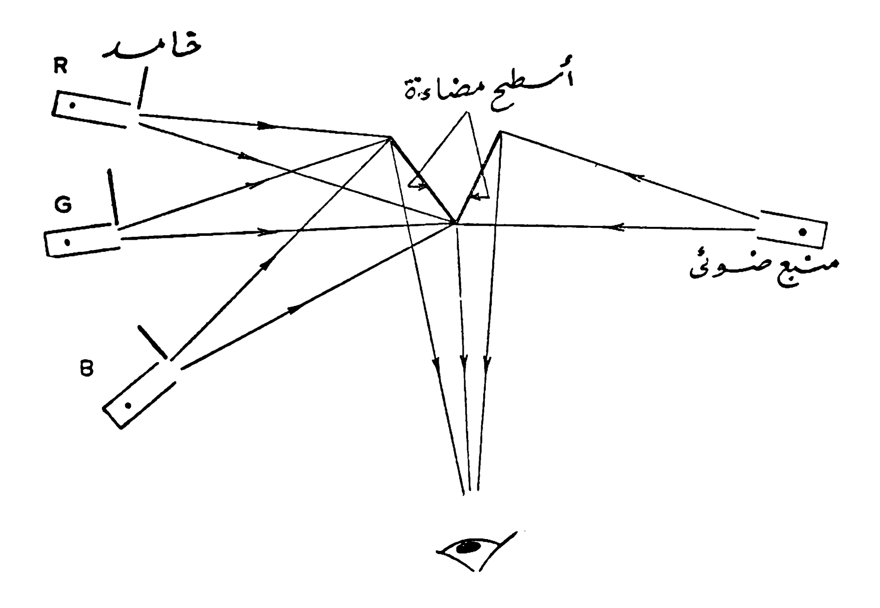
يعتمد لون جسم ما على التوزيع الطيفى للفيض الضوئى المنعكس من هذا الجسم • ويلاحظ أن هناك توزيعات كثيرة لهذا الفيض المنعكس تعطى نفس احساس اللون لهذا الجسم فى العين • ويمكن توضيح هذه النقطة بالمقارنة مع احساس اذن الانسان بالصوت • فبينما تحلل اذن الانسان الصوت بمستويات الضغط لكل تردد فى هذا الصوت نجد أن عين الانسان يمكن أن تكشف جميع الالوان باستخدام خليط مكون من نسب مختلفة من ثلاثة ألوان فقط وهذا ماحدى بالانسان لاختراع التلفزيون الملون والذى يستخدم خليط من ثلاثة ألوان رئيسية فقط• أى أن هناك خاصية لعين الانسان تسمى الطبيعة الثلاثية الالوان للرؤية•

ولتحديد لون جسم ما يستخدم ما يسمى بجهاز الكولوريمتر الثلاثى الاثارة (tristimulus colorimeter) وهو جهاز تقسم مجال الرؤية فيه الى قسمين بحيث يمكن اضاءة الجسم باستخدام ضوء مكون من خليط من أطوال الموجات فى أحد الاقسام ويستخدم الجسم الاخر للمقارنة• يبين شكل (1 — 10) مقارنة بين منبع ضوئى والثلاثة ألوان الاولية وهى الاحمر (R) والاخضر (G) والازرق (B) وقد سميت هذه الالوان بالالوان الاولية لانه لا يمكن الحصول على احداها من خليط من اللونين الاخرين • وقد تم اختيار هذه الالوان الاولية بحيث يقع احداها قرب بداية المدى المرئى (الازرق) والثانى فى الوسط تقريبا (الاخضر) والثالث قرب نهاية المدى المرئى (الاحمر) • ويمكن التحكم فى نسبة الخلط بين هذه الالوان الثلاثية باستخدام خوامد معايرة • وتتم عملية المقارنة بتغيير كمية الخمد على كل لون حتى نلاحظ أن وجهى شاشتى الملاحظة أصبحتا ذات لون واحد •

ويمكن وصف اللون المنبعث من منبع ضوئى بالمعادلة الاتية :

$$C = r\,(R) + g\,(G) + b\,(B) \qquad (7 — 1)$$

حيث (r, g, b) هى ثلاثة عوامل تعطى كمية كل لون من الالوان الثلاثة R, G, B على التوالى•ويلاحظ أنه اذا تطابق اللونان فى تجربتين متتاليتين باستخدام نفس المنبع الضوئى تحت الاختبار فان العوامل الثلاثة (r, g, b)

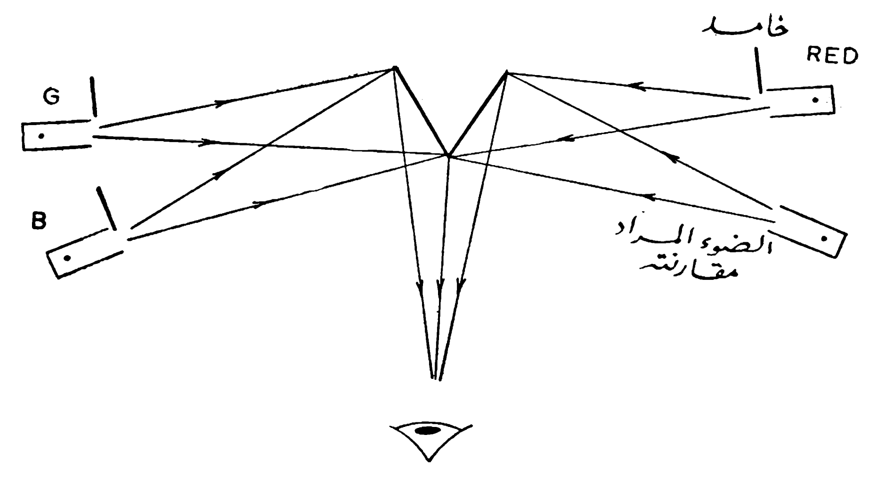


شكل 1 — 10 مقارنة منبع ضوئي

تظل لها نفس القيم فى التجربتين • وهذا يدل على أن هناك تطابقا واحدا فقط طالما استخدمنا نفس الالوان الاولية فى عملية المقارنة • وقد وجد أنه فى بعض الاحيان لا يمكن التوصل الى التطابق بالطريقة المبينة فى الشكل (1 — 10) وللحصول على التطابق يجب نقل أحد الالوان الاولية للطرف الاخر كما هو واضح فى الشكل (1 — 11) حيث تم ضم الضوء الاحمر الى الضوء المراد معرفة لونه وعند التطابق تعدل المعادلة السابقة لتكتب كالاتى

$$C + r(R) = g(G) + b(B) \qquad (9 — 1)$$

ويمكن القول فى هذه الحالة أن لون المنبع قد تطابق باضافة لون أحمر سالب الى الطرف الايسر فى شكل (1 — 11) أو أن التطابق حدث بالعوامل (- r, g, b) • فهناك اذن ألوان لا يمكن أن تتطابق مع الاحتفاظ بالمعاملات الثلاثية موجبة معا • وقد استخدمت هيئة القياس العالمية CIE (Commission International de l'Eclairage) الالوان الاولية القياسية التالية فى عمليات التطابق



شكل 1 — 11 اضافة لون أحمر سالب فى عملية المقارنة

الاحمـــر	Red	7000 A⁰
الاخضـــر	Green	5461 A⁰
الازرق	Blue	4358 A⁰

وجـدير بالملاحظـة أن التركيب الطيفى للالوان فى الطـرف الايمن فى كلا للشـكلين (1 - 10 , 1 - 11) مخالفا تماما للتركيب الطيفى فى الطرف الايسر لهما ولكن عين الانسان لا تفرق بينهما • فقد لاحظ العلماء أن اللون النـاتج من احتراق الصوديوم يطابق (من وجهة نظر عين الانسان) لون برتقالة فى ضـوء النهار العادى • وعند قياس الضوء المنتشر من الطبقة السطحية للبرتقالة وجد أنه يحتوى على كل الترددات المرئية تقريبا فى حين أن طيف بخار الصوديوم لا يعطى الا خطين فقط وهمـا 5896 A⁰ 5890 A⁰

8.1 تطابق الالوان الطيفية والمعاملات الثلاثية للالوان

بالرجوع الى المعادلة (1 — 7) نلاحظ أن وحدات (R, G, B) يمكن أن تكون وات لكل وات واحد من اللون (C) الناتج من خلط هذه الالوان الثلاثة الاولية بكميات تحدد بالعوامل (r, g, b) على التوالى • وهناك تقدير آخر تكون فيه وحدات الالوان الاولية لومن لكل وات من اللون (C) • وقـد وجـد أن أنسب وحدات هى الوحدات الكولوريمترية وهى تعتبر أن وحدة واحدة من كل الالوان الاولية تستخدم لتطابق لون أبيض معين • فمثـلا اذا استخدمنـا

10 وات من R و 2 وات من G و 0.3 وات من B لينتج هـذا اللون الابيض فيقال أن وحدة واحدة من R هى 10 ووحدة واحدة من G هى 2 ووحدة واحدة من B هى 0.3 وتصبح المعادلة (1 — 7) على الصورة

$$1\,(W) = 1\,(R) + 1\,(G) + 1\,(B) \qquad (9 - 1)$$

وعند وصف أى لون آخر (C) تكون r هى العـــدد بالوات من الاحمـر مقسـوما عـلى 10 , g العـدد بالـوات من الاخضر مقسوما على 2 , b العدد بالوات من الازرق مقسوما على 0.3. وتصبح بذلك المعـاملات r , g , b هى مجرد أعداد وتسمى بالمعاملات الثلاثية للالوان الاولية ٠

ويلاحـظ ان الارقام (10, 2 , 0.3) هى نتيجـة معـايرة اللون الابيض المعين بواسطة مراقب ٠ وقد تم اتخاذهـا كسند عند مقارنة أى لون آخـر باستخدام خليط من الالوان الاولية ٠ وقد وجد عمليا أن كل مراقب للالـوان يجب أن يعطى فرصة لمقارنة لون أبيض معين بالالوان الاولية وتحديد الارقام الثلاثة السابقة أو أرقام قريبة منها حسب احساس العين بعملية التطابق ٠

9.1 قوانين جراسمـان

استطاع جراسمان (H. Grassmann) منذ حوالى قرن وربع وضـع دراسة نظرية عن الالوان تنتج عنها القوانين الاربعة الاتية :

القانون الاول :

تستطيع العين أن تميز ثلاثة أنواع من التغيرات أو الفروق وهى النصوع (Luminance) والطـول المـوجى الغـالب (Dominant Wavelength) والنقـاء (Purity)

القانون الثـانى :

فى حالة خليط من مركبتين ضوئيتين فقط فان التغيير المنتظم للطـول الموجى لاحدى المركبتين مع ثبات الطول الموجى للمركبة الثانية يؤدى الى تغيير تدريجى للون الخليط ٠

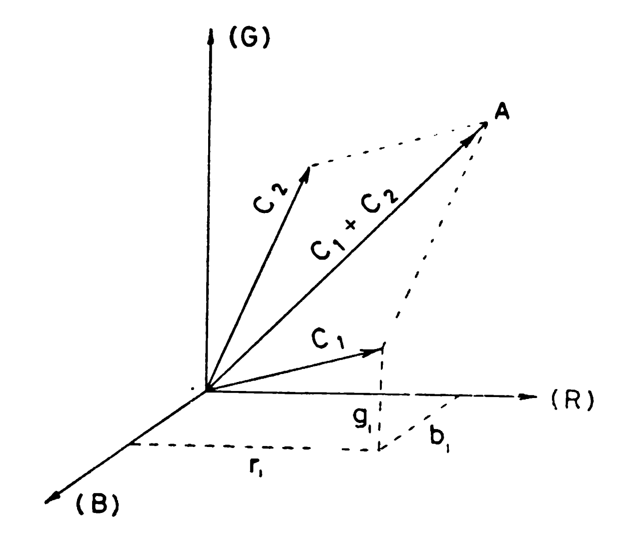
القانون الثالث

اذا خلط الضوء الخارج من منبعين لهما نفس اللون فان الضوء الناتج يكون

له نفس اللون • وبناء على ذلك فانه يمكن جمع المتجهات الثلاثية للالوان (شكل 1 — 12) • فمثلا اذا كان هناك لونان ممثلان بالمعادلتين

$$C_1 = r_1 (R) + g_1 (G) + b_1 (B) \qquad (10 - 1)$$

$$C_2 = r_2 (R) + g_2 (G) + b_2 (B) \qquad (11 - 1)$$



شكل 1 — 12 جمع المتجهات الثلاثية للالوان

وخلطا معا فان اللون الناتج يكون ممثلا بالعلاقة الاتية

$$\mathbf{C = C_1 + C_2}$$

$$= (r_1 + r_2) (R) + (g_1 + g_2) (G) + (b_1 + b_2) (B) \qquad (12 - 1)$$

أى أن الالوان الاولية فى كلا من اللونين تضاف معاملاتها للحصول على اللون الجـــــديد •

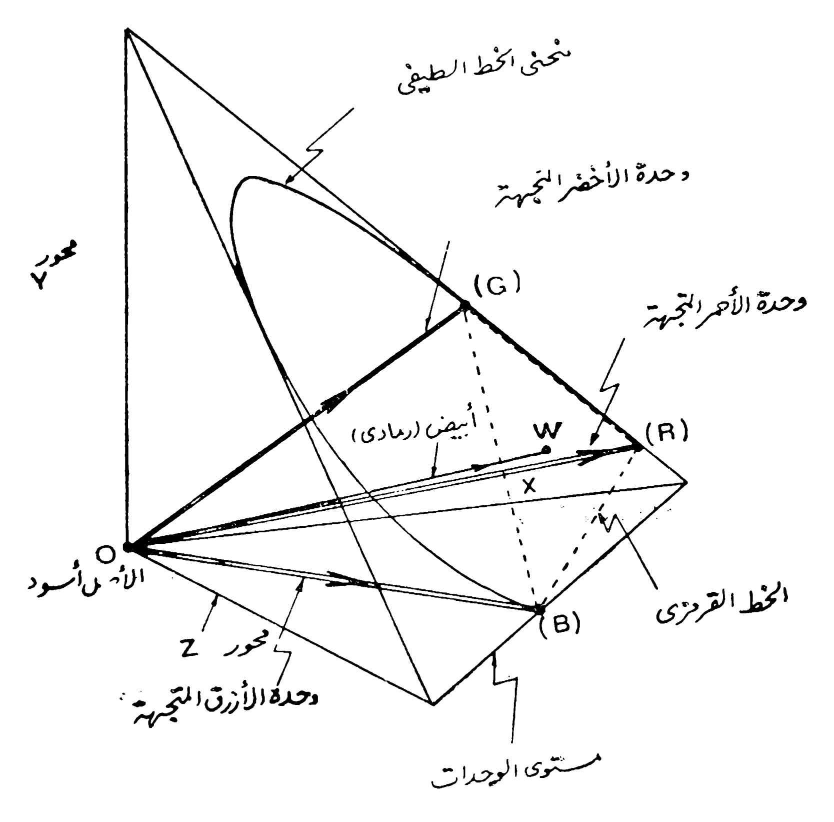
القانون الرابع :

النصوع الكلى للون ما هو المجموع الحسابى لنصوع جميع المركبات الداخلة فى تركيب هذا اللون •

ويلاحظ أن القوانين الاربعة السابقة هى قوانين تجريبية أثبتت التجارب العلمية صحتها فى القياسات الفوتومترية •

10.1 مثلث الالوان الاولية والكروماتيكية

يمكن تمثيل اللون بمتجه ثلاثى أى له ثلاثة مركبات كما ذكرنا وعلى ذلك فانه يمكن وصف هذا اللون بمتجه ثلاثى الابعاد وكذلك وصف خليط من لونين كمحصلة متجهين كما هو مبين بشكل (1 — 12) ٠ ومن الواضح أن النقطة A التى تمثل لون معين يمكن تعيينها عن طريق أى عـــدد من المتجهات بشرط أن تكون محصلتهم المتجه OA ويتم تعيين الالوان المختلفة كنقاط احداثياتها فى الفراغ هى (r, g, b) ٠ ويمكن تغيير موقع أى نقطة وبالتالى أى لون معين بتغيير أى من (r, g, b) أو الثلاثة معا أو اثنين منهما فقط ٠



شكل 1 — 13 متجهات الالوان الفراغية الاولية والكروماتيكية

وقد وجد أنه يمكن تمثيل محاور الالوان بثلاثة خطوط متقاطعة فى نقطـة واحدة ولايشترط أن تكون متعامدة ولكن يشترط أن تكون الزوايا بين الخطوط وبعضها متساوية ويعطى الشكل (1 — 13) نموذجا لتمثيل أى لون ٠ فى

هذا الشكل كلا من المتجهات R, G, B, ممثلة بمتجه طوله الوحدة من نقطة الاصل O وكل وحدة تمثل الاطوال الموجية التالية

R 7000 A^0

G 5461 A^0

B 4358 A^0

وقد اختيرت هذه الوحدات بحيث أن مجموعها يعطى النقطة W وهو لـون ناتج عن كميات متساوية من B, G, R •

ومن الخصائص الهندسية للشكل (1 — 13) نجد أن أى مستوى عمودى على المتجه الممثل للون الابيض يقطع الوحدات R, G, B فى ثلاثة نقط تمثل رؤوس مثلث متساوى الاضلاع • ويسمى هذا المثلث بمثلث الالوان أو مثلث الوحدة اذا كان يقطع كلا من المحاور الاولية R, G, B فى أطـوال مقدار كل منها الوحدة •

ويبين شكل (1 — 13) كذلك نظام احداثيات (X, Y, Z) ويمـكن أن يكون هذا النظام عمودى المحاور كما سنذكر فيما بعد •

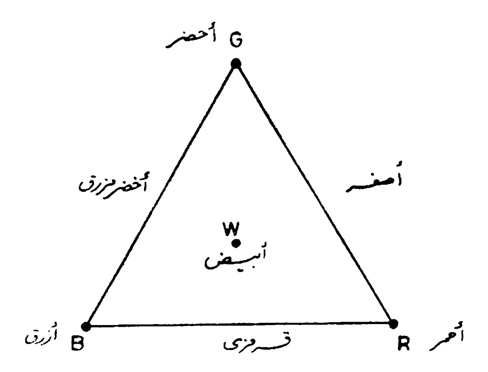
ويبين الشكل (1 — 14) مثلث الالوان وهو نفسه المثلث ذات الخطـوط المتقطعة فى شكل (1 — 13) • فى مثلث الالوان تكون الالوان الناشئة عـن خلط اللونين الازرق والاخضر ممثلة بنقط على الخط BG حيث تعتمد كل نقطة على كمية الخلط بين هذين اللونين • ونفس الكلام يقال عن ضلعى المثلث الاخـــرين GR و RB •

وقد لوحظ أنه عند استخدام المعادلة (1 — 7) قد تظهر قيمة سالبة لاحد المعاملات ويصبح اللون التابع لهذه القيمة لونا سالبا وهذا يحدث عنـدما يراد الحصول على لون ممثل بنقطة تقـع خـارج المثلث GRB • وحتى يمكن تلافى هذا الوضع فقد اتفق على استخدام ثلاثة ألوان أولية أخرى • بحيث يمكن الحصول على أى لون آخر منها ممثلا بمعاملات موجبة وقد أطلق عـلى هذه الالوان (X, Y, Z) وهى ألوان تنتمى الى الالـوان الاولية بالعـــلاقات الاتيـــة

$$X = 1.275\,(R) - 0.278\,(G) + 0.003\,(B) \tag{13 — 1}$$

$$Y = -1.74\,(R) + 2.768\,(G) - 0.028\,(B) \tag{14 — 1}$$

$$Z = -0.743\,(R) + 0.141\,(G) + 1.602\,(B) \tag{15 — 1}$$



شكل 1 — 14 مثلث الالوان الاولية

وهى تمثل ثلاثة محاور متعامدة فى الفراغ وتمر بنقطة الاصل O كما هو واضح بشكل (1 — 15) وعلى ذلك يمكن تمثيل لون معين (C) بالمعادلة الاتية

$$1\,(C) = x\,(X) + y\,(Y) + z\,(Z) \tag{16 — 1}$$

بحيث يكون

$$x + y + z = 1 \tag{17 — 1}$$

وقد وجد أنه يمكن تبسيط الشكل الفراغى (1 — 13) الى شكل مستو وذلك بالاسقاط عموديا على المستوى XY فنحصل على مثلث الالوان الكروماتيكية (X , Y) المبين فى شكل (1 — 15) وفيه رمزنا لمحور Z بالرمز O • وداخل هذا المثلث تم تحديد كل الالوان وحيدة الموجة ويسمى الخط الواصل بين هذه الالوان بالمسار الطيفى • ويلاحظ أن النقط ذات الالوان الاولية التى ذكرناها بالمعادلات (1 — 13 , 14 , 15) تحدد على النحو التالى :

أ) النقطة $(y = 0 , x = 1)$ بالتعويض عن هذه القيم فى المعادلة (1 — 17) نحصل على $z = 0$ وبالتالى نحصل من المعادلة (1 — 16) على اللون المناظر

$$1\,(C) = 1\,(X) \qquad (18 - 1)$$

وتبين المعادلة (1 — 13) أن اللون الغالب هو الاحمر ٠

ب) النقطة $(y = 1 , x = 0)$ هى اذن

$$1\,(C) = 1\,(Y) \qquad (19 - 1)$$

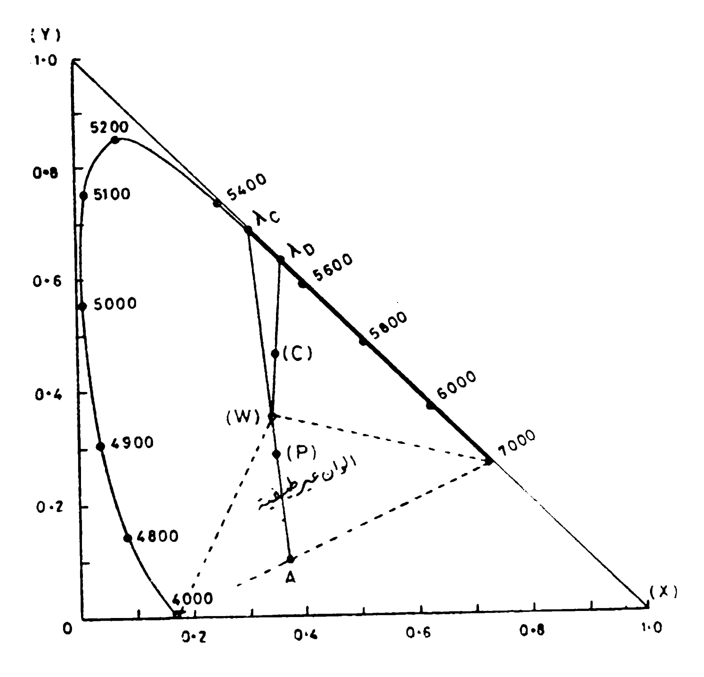
ويكون اللون الغالب هو الاخضر ٠

ج) النقطة $(y = 0, x = 0)$ يمكن الحصول عليها من المعادلتين (1 — 16 ,17) وهى تعطى

$$1\,(C) = 1\,(Z) \qquad (20 - 1)$$

وفيه اللون الغالب هو الازرق ٠

النقط الثلاثة التى ذكرناها تحدد رؤوس مثلث الالوان الكروماتيكى كما ذكرنا ٠ ويلاحظ أن الالوان X, Y, Z هى ألوان قياسية تخيلية نحصل منها بمعاملات (x, y, z) موجبة على كل الالوان الاخرى كما ذكرنا ٠



شكل 1 — 15 مثلث الالوان الكروماتيكية

ويلاحظ أنه اذا رسمنا خطا مستقيما بين أى نقطتين على المسار الطيفى المبين بشكل (1 — 15) فان أى نقطة تقع على هذا الخط تمثل لون نحصل عليه بخليط مناسب من لونى هاتين النقطتين • وعلى ذلك فالنقط الواقعة داخل المنحنى تمثل ألوان حقيقية يمكن أن نحصل عليها عمليا باستخدام خليط ضوئى من منابع ملونة • والنقط الواقعة خارج المنحنى تمثل ضوء تخيلى لا يمكن الحصول عليه عمليا بخلط مجموعة ألوان مع بعضها وهذا يؤكد أن المحور الافقى والمحور الرأسى فى شكل (1 — 15) تمثل ألوان تخيلية كما ذكرنا وتقع كلها خارج المنحنى •

واذا رسمنا خطا مستقيما بين النقطة (W) التى تمثل اللون الابيض الى النقطة (C) التى تمثل لون جسم فان امتداد هذا الخط يقابل المسار الطيفى عند النقطة التى لها الطول الموجى الغالب λ_D • وهذا بالتالى يعنى أن خليطا مناسبا من اللون الابيض (W) واللون ذات الطول الموجى λ_D ينتج عنه اللون (C) •

ويعرف نقاء اللون (C) على أنه النسبة المئوية بين الاطوال WC الى $W\lambda_D$ ويلاحظ أن اللون الابيض نفسه له درجة نقاء صفر واللون الطيفى الواحد أى الممثل بنقطة على منحنى الخط الطيفى بشكل (1 — 15) له درجة نقاء مقدارها 100% •

أما بالنسبة للالوان الغير طيفية والواقعة فى المنطقة الارجوانية على الخط المستقيم المتقطع الواصل بين $4000\ A^0$ و $7000\ A^0$ فهى تعامل معاملة خاصة وهذا راجع الى أن المسار الطيفى غير مغلق • يمر الخط الواصل من اللون المراد تحديده (والمعين بالنقطة (P) مثلا) والنقطة (W) حتى يقطع المنحنى الطيفى عند أى نقطة ولتكن λ_C مثلا (شكل 1 — 15) ويسمى الطول الموجى λ_C بطول الموجة المتمم ويوصف اللون (P) باللون المتمم وكذلك بالمقدار (WP/WA) 100.

وهناك طريقة أخرى لتعيين لون جسم ما وهى تعتمد على ما يسمى بلوحة المقارنة أو طريقة مونسل (Munsell) وهذه الطريقة تقتصر فقط على مقارنة الوان الاجسام ولا يمكن استخدامها فى مقارنة الوان المنابع الكهربية مثل الطريقة السابقة•

11.1 درجة حرارة الالوان ودليل أمانة نقل الالوان

عندما ترتفع درجة حرارة جسم أسود تنبعث منه فى بادىء الامر حــرارة اشعاعية غير مرئية • ومع ازدياد درجة الحرارة يبدأ الجسم فى التوهج بلون أحمر عاتم ثم بلون أحمر قانى ثم يمر بمجمــوعة من الالوان حتى يشع ضوءا أبيض (الحرارة البيضاء) ثم ضوءا أزرق • ويبين الجدول التالى العــلاقة بين لون الجسم ودرجة حرارته :

أحمــــر	8000 — 900 ^{0}K
أصفر	3000
أبيض	5000
أزرق باهت	8000 — 10,000
أزرق سماوى ناصع	60,000 — 100,000

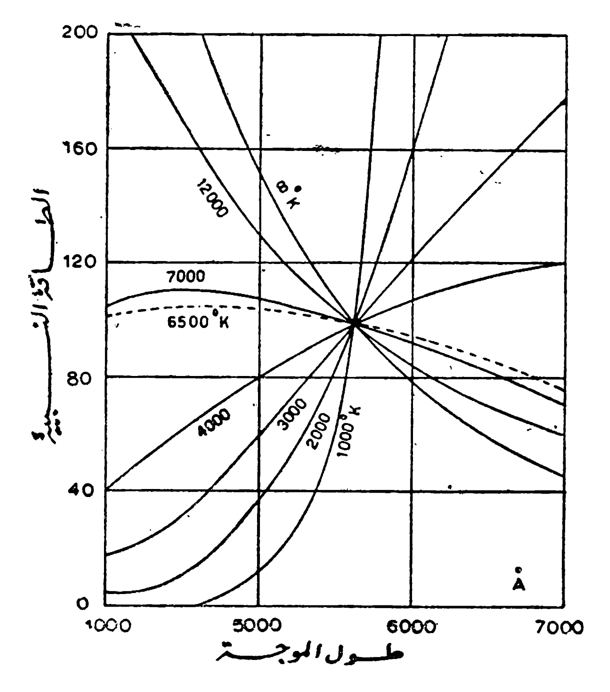
وأى منبع للضوء لونه يطابق لون الجسم الاسود المشع عند درجة حرارة معينة يمكن أن يتصف بهذه الدرجة • فمثلا يمكن أن نصف ضوء مصباح فلورى بأن درجة حرارته 4000 ^{0}K • ولكن يجب أن نوضح هنا أن هذا التطابق ليس الا تطابقا ظاهريا بمعنى أنه ليس من الضرورى أن يكون التوزيع الطيفى للطاقة لضوء المنبع ولضوء الجسم الاسود متساويين عند درجة حــرارة تطابق اللونين • والمصادر التى لها توزيع طيفى للطاقة مشابه للتوزيع الطيفى لجسم أسود مشع عند درجة حرارة معينة تسمى مصادر طبيعية للضــــوء • ويبين الجدول التالى هذه المصادر ودرجات حرارتها :

شمعة أو مصباح زيت	2000 ^{0}K
مصباح متوهج	2500 — 3000
ضوء الشمس عند الاصيل	4000
ضوء الشمس عند الظهر	5000
سماء بها غيـــوم	6500
سماء زرقــــاء	10,000

واذا كان لدينا منابع مختلفة للضوء لها نفس درجة حرارة اللون ولكن لها توزيعا طيفيا مختلفا ، فان لون أى جسم قد يبدو مختلفا تماما عند مشاهــدته فى ضوء كل منبع على حده •

فمثلا نجد أن جسما له لون أحمر وأزرق وأصفر فى ضوء النهار الطبيعى

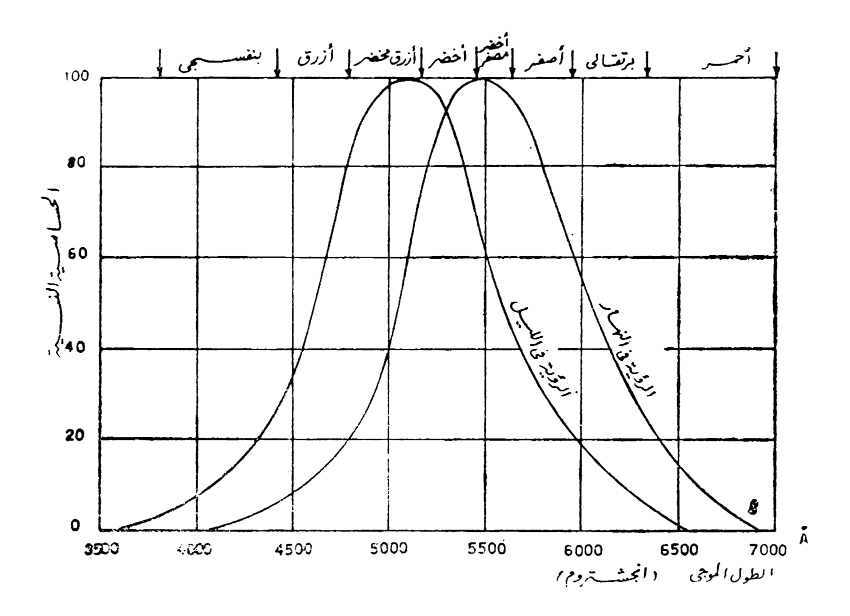
يبدو بألوان مختلفة تماما اذا شوهد فى الضوء الاصفر لمصباح الصوديوم أو فى الضوء الاصفر لمصباح فلورى له نفس درجة حرارة مصباح الصوديوم • ففى الحالة الاولى تبدو جميع ألوان الجسم كتدرجات مختلفة من اللون الرمادى وفى الحالة الثانية نجد تمييزا أكبر بين الالوان ولكنها تختلف اختلافا كبيرا عن الالوان الطبيعية • والسبب فى ذلك هو أن اللون الظاهرى لاى سطح يعتمد أساسا على التركيب الطيفى للضوء الساقط على السطح وعلى مدى انعكاس مركباته المختلفة •



شكل 1 — 16 الطاقة النسبية للاشعاع من جسم أسود عند درجات حرارة مختلفة •

يتضح مما سبق أن درجة حرارة اللون لاى مصدر غير طبيعى للضوء غير كاف لوصف مقدرة هذا المصدر لاظهار الالوان الحقيقية للاشياء التى تنار بضوئه ولذلك فقد وضعت اللجنة الدولية CIE معيارا لقياس درجة أمانة المصادر الضوئية لنقل الالوان وذلك بدلالة معامل خاص يعرف بدليل أمانة نقل الالوان• (general colour rendering index — R) ولايجاد قيمة هذا الدليل يتم تحديد الفارق فى اللون عندما تضاء كل عينة من مجموعة مكونة من ثمانى عينات

لها ألوان قياسية محددة أولا بالمنبع المراد تعييره وثانيا بمنبع قياسى • ومن القيمة المتوسطة لهذه الفروق الثمانية يتم حساب دليل أمانة نقل الالوان لمنبع الاختبار • وفى حالة تطابق جميع القراءات (أى تطابق التوزيع الطيفى لمنبع الاختبار وللمنبع القياسى) تكون قيمة الدليل 100 • وكلما زادت الفروقــات بين القراءات كلما قلت قيمة الدليل •



شكل 1 — 17 حساسية العين فى المدى الطيفى المرئى

يبين الشكل (1 — 16) التوزيع الطيفى للطــاقة المشعة من جسم أسود عند درجـــات حــرارة مختلفة • ويعرف الاشعاع المثالى من جسم أســود بأنه الاشعاع من فتحة صغيرة هى عبارة عن فوهة لفجوة داخــل هذا الجسم تكــون حوائطها الداخلية عند درجة الحرارة التى يشع عندها هذا الجسم • ويلاحظ أن المحور الرأسى قد نسب الى لون أبيض ينتج عن طاقة متساوية لكل أطوال الموجات المرئية وهو يمثل بخط مستقيم يوازى المحور الافقى ويمر بالرقم 100 على المحور الرأسى وهو لون افتراضى لا يمكن أن نحصل عليه عمليا ولــكنه يستخدم كأساس رياضى لكثير من المعايير القياسية المحددة من هيئة القياس العــالمية •

12.1 حساسية العين فى المدى الطيفى المرئى :

تختلف استجابة الاعصاب الداخلية للعين للالوان من شخص الى آخر فى حدود معينة ولكنها عامة تستطيع تمييز الالوان فى المدى الطيفى من 4000 حتى 7000 انجشتروم ٠ ويلاحظ أن حساسية العين ليست ثابتة على هذا المدى ولكنها تتزايد بالتدريج من الصفر فى بداية المدى المرئى حتى نهاية عظمى فى وسطه ثم تقل تدريجيا على الجانب الاخر منه ٠ وهــذا يعنى أنه اذا تم تحويل كمية من الطاقة الكهربية مثلا الى ألوان فى وسط المدى المرئى (الاصفـر والاخضر) فان استجابة العين ستكون أكبر بكثير من الاستجابة اذا تم التحويل الى ألوان فى أطراف المدى المرئى (الاحمر أو الازرق) ويبين شكل (1 -- 17) استجابة العين للالوان على المدى الطيفى المرئى تتوقف على كمية اضائة الوسط الموجى من 3500 الى 7000 أنجشتروم ٠ ومن هذا الشكل يتضـح أن استجابة العين للالوان على المدى الطيفى المرئى تتوقف على كمية اضائة الوسط الذى تقاس فيه هذه الاستجابة فهى تختلف فى الليل عن النهار ٠

الفصل الثانى

وحـــدات ونظـــم الأضـــاءة

1.2 مقـــدمة

نقدم فى هذا الفصل التعاريف المختلفة للوحـــدات الضوئية ثم يلى ذلك كيفية استخدام القوانين الاساسية للاضاءة وتطبيقاتها باستخدام أمثلة عددية• ويعطى هذا الفصل كذلك تصميم الاضاءة داخل الغرف والحيزات المختلفة وهذه تشتمل على العوامل الواجب أخذها فى الاعتبار عند اجراء عملية التصميم مثل نوع نظام الاضاءة وحوائط الحيز المراد اضاءته ونوعية العمل المراد اجـراؤه داخل هـــذا الحيز • يلى ذلك الخطوات المتبعة لعملية التصميم • وفى نهاية الفصل نقدم بعض الامثلة العددية •

2.2 الوحـــدات المستخدمة فى الاضاءة

(أ) الفيض الضيائى ϕ (Luminous Flux)

يعرف الفيض الضيائى ϕ بأنه كميـــة الاشعاع المرئى الخارجة من منبع مضىء فى الثانية الواحدة ووحدة الفيض الضيـــائى هى اللـــومن (lumen) ويرمز لها بالرمز المختصر (lm)

(ب) كمية الضوء Q (Quantity of Light)

تعرف كمية الضوء الخارجة من مصباح معين فى فترة زمنية معينة بأنها

$$Q = \phi\, t \qquad \text{lm. sec} \qquad (1-2)$$

حيث t هى الفترة الزمنية و ϕ هو الفيض الضيائى لهذا المصباح • فى بعض الاحيان تكون وحدات كمية الضوء هى lm. h أى لومن • ساعة • مثال ذلك اذا كان الفيض الضيائى لمصباح ما هو 1500 لومن فـــان كمية الضوء التى يعطيها هذا المصباح فى ثلاث ساعات هى

$$Q = 1500 \times 3 = 4500 \quad \text{لومن ساعة}$$

(جـ) القدرة التأثيرية الضيائية (Luminous Efficacy of a Source)

تعرف القدرة التأثيرية الضيائية لمصباح ما على أنها خارج قسمة الفيض الضيائى الكلى الخارج من المصباح على القدرة الكهربية الكلية التى يستهلكها هذا المصباح ووحداتها هى لومن/وات • فمثلا اذا كان الفيض الضيائى لمصباح متوهج قدرته 100 وات هو 1000 لومن فان القدرة التأثيرية الضيائية هى 10 لومن/وات •

(د) الاستضاءة E (Illuminance)

تعرف الاستضاءة عند أى سطح بأنها كمية الفيض الضيائى الساقطة على كل وحدة مساحة من السطح • أى كثافة الفيض عند السطح • فاذا سقطت كمية من الفيض الضيائى مقدارها $d\phi$ لومن على سطح مساحته dS متر مربع فان استضاءة هذا السطح هى

$$E = d\phi \; / \; dS \qquad \text{(lux)} \qquad \text{لومن/متر}^2 \qquad (2-2)$$

وتعرف الوحدة لومن/متر٢ باﻟ «لوكس» (lux)

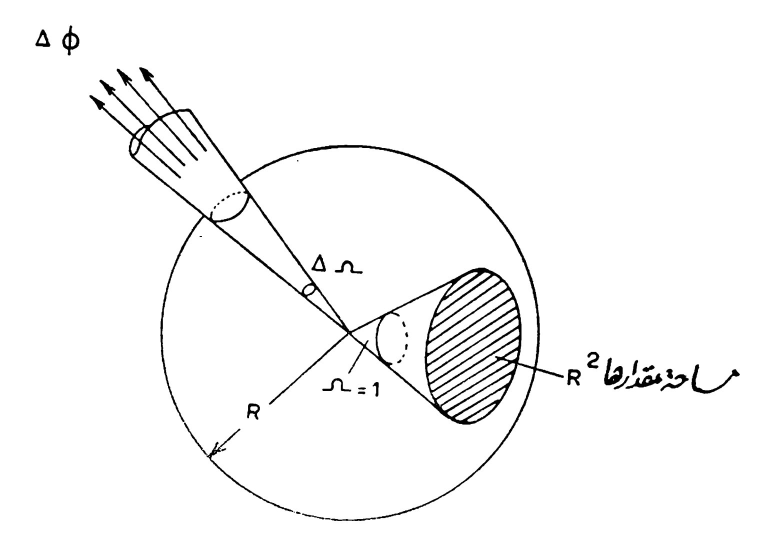
(هـ) الشدة الضيائية I (The Luminous Intensity)

لنفرض أن مصدر الضوء موضوع عند مركز كرة نصف قطرها R • تقاس وحدة الزاوية الفراغية (Solid Angle) عند مركز الكرة بأنها الزاوية الفراغية المقابلة لمساحة قدرها R^2 من سطح الكرة كما هو مبين بشكل (2 — 1) وعلى ذلك فان المساحة الكلية للكرة تقابل زاوية فراغية مقدارها 4π عند مركز الكرة• واذا كان منبع الضوء يشع فيض ضيائى مقداره ϕ لومن وتقع كمية مقدارها $\Delta\phi$ داخل الزاوية الفراغية $\Delta\Omega$ كما فى الشكل فان هذه الكمية تظل داخل المخروط ذات الزاوية الفراغية $\Delta\Omega$ والذى يقع رأسه عند مركز الكرة •

وتعرف الشدة الضيائية I فى اتجاه محور المخروط بأنها

$$I = \Delta\phi \, / \, \Delta\Omega \qquad (3-2)$$

ووحداتها لومن لكل وحدة زاوية فراغية التى تسمى كندلا (Candela)



شكل 2 — 1 وحدة الزاوية الصلبة وتعريف الشدة الضيائية

واذا كانت الزاوية الفراغية صغيرة جدا أى $d\,\Omega$ ويمر بها كمية فيض $d\,\phi$ فـــــان I فى اتجـــاه $d\Omega$ هى

$$I = d\,\phi\;/\;d\,\Omega \qquad (4 — 2)$$

ومما سبق يتضح أن I لها مقدار واتجاه ·

وبصفة عامة يمكن تعريف الشدة الضيائية فى اتجـــاه معين بأنها كمية الفيض الضيائى الواقعة على عنصر سطح عمودى على هذا الاتجاه مقسومة على للزاوية الصلبة المقابلة لهذا السطح عند المنبع ·

(و) النصـــوع L (Luminance)

تختلف شكل الاشياء أو الاسطح فى مظهرها على حسب كمية الضوء الذى تبعثه أو تعكسه فى اتجاه العين · لذلك يجب أن يكون هناك مقياس للضـــوء المنعكس أو المنبعث من الاسطح وهذا المقياس هو النصوع · ويعرف النصوع فى اتجاه معين وعند نقطة معينة على أى سطح بأنه كمية الفيض التى تترك (أو تنفذ من) عنصر سطح يحيط بالنقطة وتنتشر فى الاتجـــاه المحـــدد بمخروط عنصرى يحتوى على الاتجاه المعين مقسومة على حاصل ضرب الزاوية الصلبة لهذا المخروط ومساحة عنصر السطح مسقطة على المستوى العمودى على الاتجاه المذكور · أى اذا افترضنا أن كمية الفيض الساقطة على عنصر مساحته dS هى $d\,\phi$ فاذا انعكس هذا الفيض من السطح فى اتجاهات مختلفة فان الفيض

الذى يترك السطح فى اتجاه θ مع العمودى عليه هو

$$d(d\phi) = d^2\phi \qquad (5-2)$$

وحيث أن مسقط المساحة على اتجاه θ هو $dS \cos\theta$ فيصبح النصوع عند النقطة P فى هذا الاتجاه هو

$$L(\theta) = d^2\phi / dS\, d\Omega \cos\theta$$

$$= dI / dS \cos\theta \quad \text{كندلا/متر٢} \qquad (6-2)$$

(ز) الانعكاسية (Reflectance)

فى حالة الانعكاس الانتشارى نلاحظ أن زاوية النظر للسطح العاكس ليست ذات أهمية حيث ينتشر الضوء المنعكس فى كل الاتجاهات بمقدار متساو تقريبا • وعلى ذلك يعرف ما يسمى بمعامل انعكاس السطح r فمثلا اذا سقطت كمية من الفيض الضوئى ϕ على سطح مساحته متر مربع واحد فان كمية الاشعاع المنعكس هى $r\,\phi$

3.2 قانون التربيع العكسى وقانون لامبرت (Lambert) للاستضاءة

نفرض أن لدينا منبع ضوء له فيض ضيائى ϕ ومركز عند النقطة P كما هو مبين بالشكل (2 — 2) ولنفرض أيضا وجود كرتان نصف قطراهما a ، b ومركزهما هى النقطة P وان المساحتين المحصورتين بين هاتين الكرتين ومخروط له زاوية رأس صلبة Ω ورأسه عند النقطة P هما S_1, S_2 • وحيث أن الفيض الضيائى داخل المخروط ثابت نجد أن

$$\phi_1 = \phi_2 = \phi' \qquad (7-2)$$

حيث

$$\phi_1 = S_1\,\phi / 4\pi a^2 \qquad (8-2)$$

$$\phi_2 = S_2\,\phi / 4\pi b^2 \qquad (9-2)$$

ومن تعريف الاستضاءة نجد أنها على السطح S_1 هى

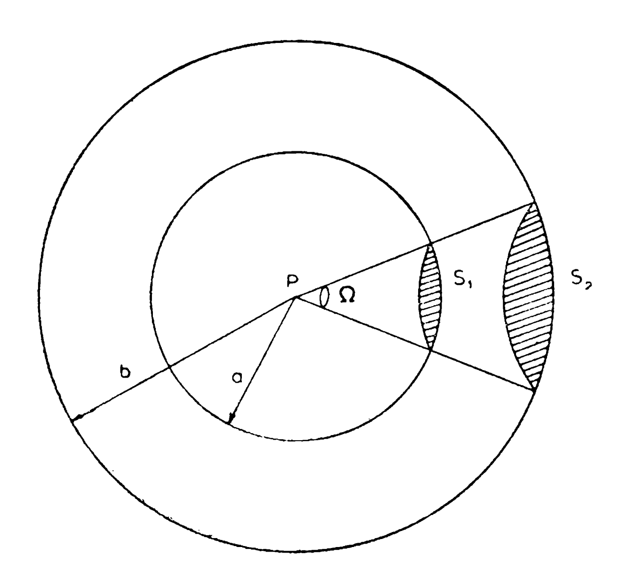
$$E_1 = \phi_1 / S_1 = \phi / 4\pi a^2 \qquad (10-2)$$

والاستضاءة على السطح S_2 هى

$$E_2 = \phi_2 / S_2 = \phi / 4\pi b^2 \qquad (11-2)$$

أى أن

$$E_1/E_2 = b^2/a^2 \qquad (12-2)$$



شكل 2 — 2 قانون التربيع العكسى

ويتضح مما سبق أن الاستضاءة على سطح عمودى على اتجاه الضوء تتناسب عكسيا ومربع المسافة بين المنبع والسطح وهو ما يعرف بقانون التربيع العكسى. وحيث أنه بصفة عامة الزاوية الفراغية المقابلة لسطح مساحته S يقع على كرة نصف قطرها r هى S/r^2 نجد أن

$$\Omega = S_1/a^2 = S_2/b^2 = \dots = S/r^2 \qquad (13-2)$$

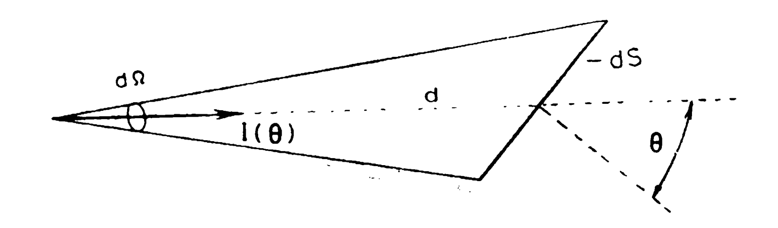
وبناء على ذلك فانه يمكن ايجاد الاستضاءة على سطح مساحته S ببعد مسافة d من منبع من المعادلة

$$E = \phi'/S = I\,\Omega/S = I/d^2 \text{ لوكس} \qquad (14-2)$$

ويلاحظ أن قانون التربيع العكسى قد استنتج على أساس أن منبع الضوء مركز عند نقطة (منبع نقطى ـ ويمكن اعتبار المنبع كنقطة اذا كانت المسافة

بينه وبين السطح كبيرة نسبيا) وأن السطح المضاء عمودى على اتجاه الفيض الضيائى • ولكن من الناحية العملية نجد أن الضوء يسقط بزوايا ميل مختلفة على الاسطح المراد اضاءتها • فاذا كان الضوء الخارج من منبع نقطى يسقط بزاوية θ على عنصر مساحته dS (شكل 2 — 3) فان

$$E = d\phi / dS = I \, d\Omega / dS \qquad (15 — 2)$$



شكل 2 — 3

وحيث أن الزاوية الصلبة المقابلة للسطح dS عند المنبع هى

$$d\,\Omega = dS \cos\theta / d^2 \qquad (16 — 2)$$

نجد أن الاستضاءة على المساحة dS هى

$$E = I(\theta) \cos\theta / d^2 \quad \text{أو (لوكس)} \qquad (17 — 2)$$

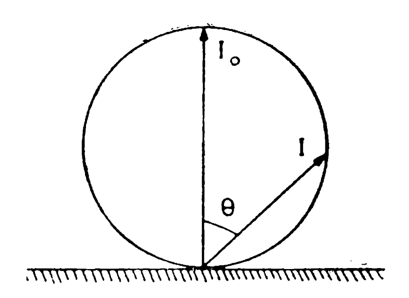
حيث $I(\theta)$ هى الشدة الضيائية فى الاتجاه و d هو بعد المنبع عن السطح •

وينص قانون لامبرت لجيب التمام (Lambert's Cosine Law) على أن الفيض الضيائى لكل وحدة زاوية صلبة والمنبعث من سطح ناشر تام فى اتجاه محدد θ يتناسب وجيب تمام الزاوية θ أى أن

$$I = I_0 \cos\theta \qquad (18 — 2)$$

حيث I_0 هى الشدة الضيائية فى الاتجاه العمودى على السطح (أنظر **شكل 2 — 4**) • والاسطح التى تخضع لقانون لامبرت لا يعتمد نصوعها على زاوية الرؤية لان

$$L = dI / dS \cos\theta = dI_0 / dS \qquad (19 — 2)$$

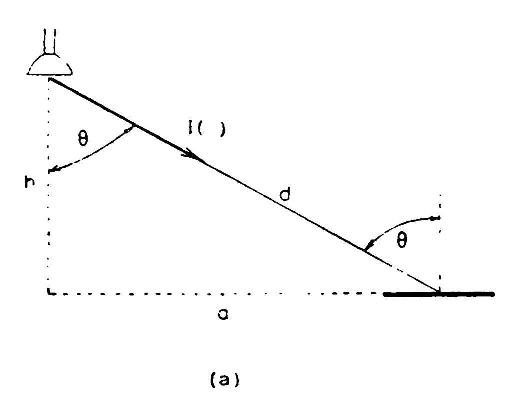


شكل 2 — 4

وهذا يفسر ظهور كرة مضاءة نفاذة وكأنها قرص مضاء عند النظر اليها من أى اتجاه بالرغم من ان اجزاؤها المختلفة لها ميول مختلفة بالنسبة للمشاهد ، وأيضا ظهور الشمس فى صورة قرص مضاء متساوى النصوع ٠

4.2 الاستضاءة الافقية (Horizontal Illuminance)

ا) منبع ضوء نقطى (شكل 2 — 5 a)



شكل (2 — 5 a) الاستضاءة الافقية : منبع نقطى

الاستضاءة عند النقطة P على سطح أفقى هى

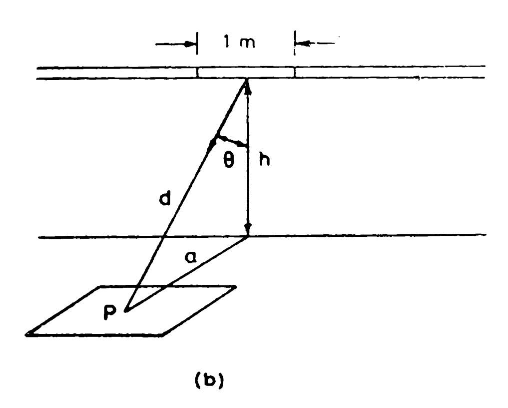
$$E_P = I(\theta) \cos\theta / d^2$$

$$= I(\theta) \cos^3\theta / h^2 \qquad (20 — 2)$$

ب) منبع ضوء طولى انتشارى (شكل 2 — 5 b)

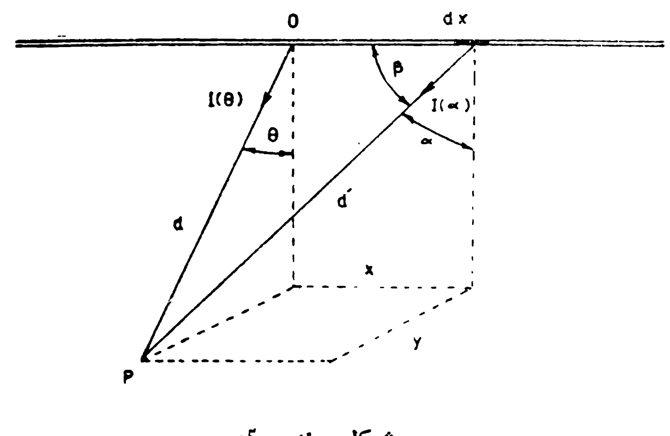
يمكن حساب الاستضاءة عند النقعة P من المعادلة الاتية على أساس أن طول المنبع أكبر بكثير من علوه

$$E_P = \pi I(\theta) \cos^2 \theta / 2h \qquad (21 — 2)$$



شكل 2 — b5 الاستضاءة الافقية : منبع طولى

حيث I (θ) هى شدة الاضاءة لكل متر من طول المنبع والاستضاءة عند أطراف المنبع هى نصف هذه القيمة



شكل 2 — c5

ويمكن اثبات المعادلة (2 — 21) كالاتى :

افرض أن لدينا منبع انتشارى طوله لا نهائى وأن شدة الاستضاءة هى $I(\theta)$ لكل متر طولى فى الاتجـــاه العمودى على محور المنبع · الاستضاءة الافقية عند نقطة P نتيجة لعنصر طوله dx على بعد x من O هى (شكل 2 — 5 c) ،

$$dE = I(\alpha)\cos^3\alpha \; dx / h^2$$

ومن هندسة الشكل نستنتج العلاقات الاتية :

$$\cos\alpha = h/d' \; ; \qquad \cos\theta = h/d \; ; \; I(\alpha) = I(\theta)\sin\beta = I(\theta)\, d/d'$$

$$d'^2 = (x^2 + d^2)$$

والاستضاءة الكلية هى اذا

$$E = 2\,I(\theta)\,h\,d \int_0^\infty dx/(x^2 + d^2)$$

$$= \pi\, I(\theta)\cos^2\theta \,/\, 2h$$

5.2 الاستضاءة الرأسية (Vertical Illuminance)

أ) منبع الضوء نقطى (شكل 2 — 6 a)

الاستضاءة عند نقطة P على سطح رأسى هى

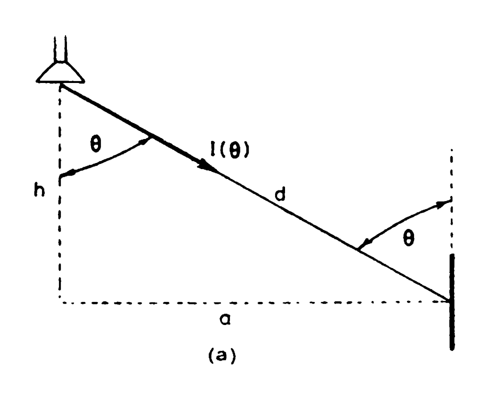
$$Ep = I(\theta)\cos\theta / d_2$$

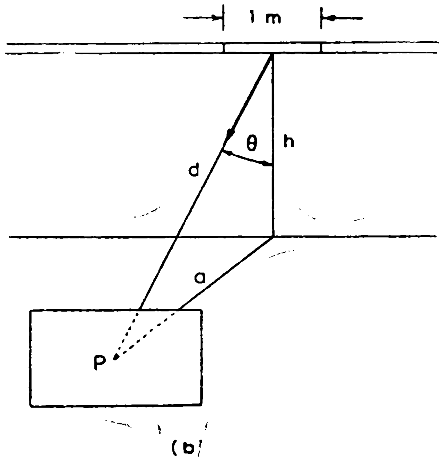
$$= I(\theta)\, a/d^2$$

$$Ep = I(\theta)\cos^2\theta \sin\theta / h^2 \qquad (22 — 2)$$

حيث

$$\cos\theta = h/d \, , \; \sin\theta = a/d$$





شكل 2 - 6

ب) منبع الضوء طولى انتشارى (شكل 2 — 6 b)

يمكن حساب الاستضاءة عند النقطة P على أساس أن طول المنبع أكبر بكثير من بعده عن السطح من المعادلة الاتية

$$E_P = \pi I(\theta) \sin\theta \cos\theta / 2h \qquad (23 — 2)$$

حيث (θ) I هى شدة الاستضاءة لكل متر من طول المنبع ٠

العلاقة بين وحدات الاستضاءة والنصوع :

باستخدام تعريف الاستضاءة عند النقطة P من المعـــادلة (2 — 15)

نجد أن العلاقة بينها وبين النصوع هى

$$R = rE = rd\phi / dS \qquad (24 — 2)$$

$$= \int_0^{2\pi} L \cos\theta \, d\Omega$$

حيث r هو معامل انعكاس السطح الساقط عليه الفيض الضوئى . وقد أجرينا التكامل على نصف الفراغ الموجود أمـــام السطح . واذا كان السطح يخضع لقانون لامبرت الجيبى نجد أن L ثابتة ولا تعتمد على الزاوية وعلى ذلك يكون

$$R = r E = L \int_0^{2\pi} \cos\theta \, d\Omega$$

ولـكن $\Omega = 2\pi (1 — \cos\theta)$ وذلك باعتبار أن هناك تماثل اسطوانى حول العمود المقام على السطح . فيكون

$$d\Omega = 2\pi \sin\theta \, d\theta$$

ويتغير مدى التكامل بالنسبة الى θ من 0 الى $\pi / 2$

$$R = L \int_0^{\pi/2} 2 \pi \sin\theta \cos\theta \, d\theta$$

$$= \pi L \left[— \cos 2\theta /2 \right]_0^{\pi/2}$$

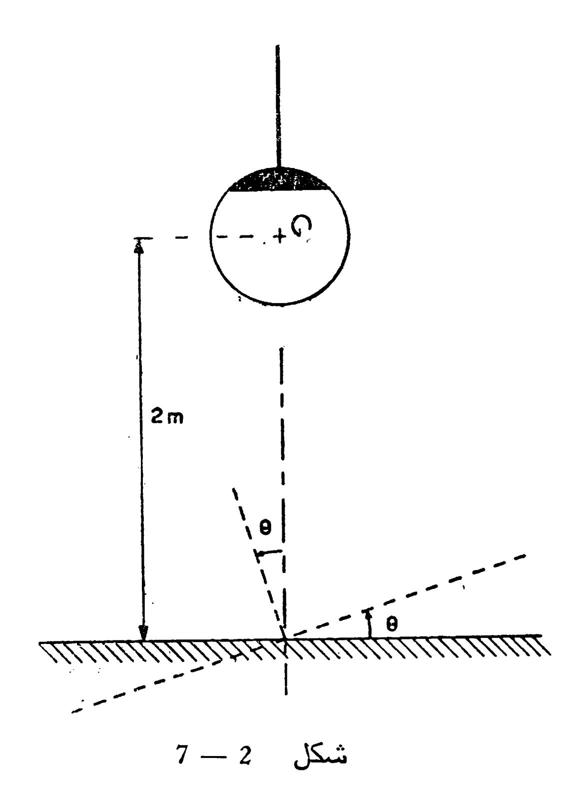
$$R = \pi L \qquad (25 — 2)$$

ومنها يتضح أن وحدات L ووحدات الاستضاءة المنعكسة من السـطح تختلف بمقدار الثابت π . ووحـــدات الاستضـــاءة المنعكســـة R هى ابوستيلب (apostilb) ووحدات L كندلا/متر مربع أى أن

$$(apostilb) = \pi \ (cd/m^2)$$

مثـــال ١ :

ناشر ضوئى كروى نصف قطره 10 سم مضاء من الداخل ومعلق فوق منضده على ارتفاع مترين منها (شكل 2 - 7)٠ اذا كانت كمية الفيض الضيائى الخارج من الكرة هى 2000 لومن ومعامل انعكاس المنضدة 50% احسب ما يأتى



شكل 2 — 7

١ ـ نصوع الكرة

٢ ـ الاستضاءة عند نقطة P على سطح المنضدة تقع تحت المصباح مباشرة

٣ ـ الانعكاسية على المنضدة عند النقطة P

الحـــــل :

١ ـ باعتبار أن كثافة الفيض متساوية فى كل الاتجاهات تكون الشـــدة الضيائية للكرة هى

$I = \phi / 4\pi$

$= 2000/4\pi = 159.15$ كندلا

ويكون نصوع الكرة فى اتجاه النقطة P هو

$L = I / \pi a^2$

$= 5066$ كندلا/م٢

٢ ـ الاستضاءة عند نقطة P هى الشدة الضيائية فى اتجاه P مقسومة على مربع بعد نقطة P عن المنبع

$E_P = I/(2)^2$

$= 39.79$ لوكس

ويلاحظ أنه اذا كانت المنضدة مائلة بزاوية مقدارها θ مع اتجاه I عند P فـــان

$E_P = (I / (2)^2) / \cos\theta$

٣ ـ الانعكاسية على المنضدة عند نقطة P هى

$R = E_P \cdot r$

$= 39.79 \times 0.5$

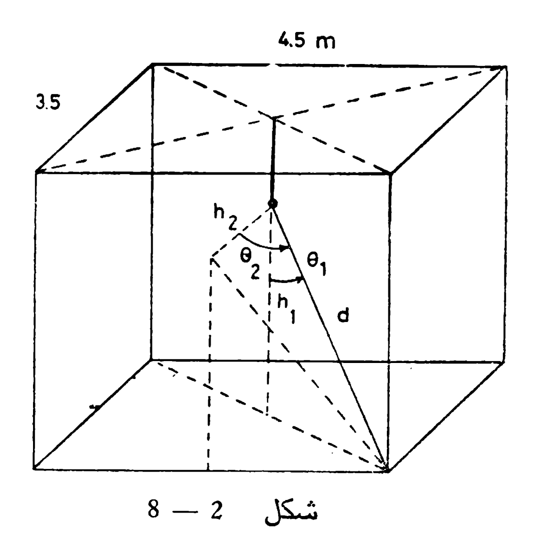
$= 40$ أبو ستيلب

مثـــال ٢

غرفة مساحة أرضيتها 4.5 × 3.5 متر٢ وارتفاعها 3.5 متر تضـــاء بواسطة مصباح مدلى من السقف لمسافة طولها 0.80 متر ٠ فـــاذا اعتبرت الشدة الضيائية للمصباح متساوية فى كل الاتجاهات وقيمتها 150 كنـــدلا أوجد الاستضاءة الافقية والرأسية الناتجة من المصباح فقط عند ركن الغـرفة المشترك مع الارضية (شكل 2 — 8)

الحـــل :

الاستضاءة الناتجة من ضوء المصباح فقط (أى الضوء المباشر من المصباح) نحصل عليها من المعادلة (2 — 20) ٠ الاستضاءة الافقية هى



شكل 2 — 8

$$E_1 = I(\theta) \cos^3 \theta_1 / z^2$$

$$\cos \theta_1 = h_1 / d \quad , z = h_1 \quad , h_1 = 3.5 - 0.8 = 2.7 \text{ m}$$

$$d = [(3.5/2)^2 + (4.5/2)^2 + (2.7)^2]^{1/2} = 3.926 \text{ m}$$

$$E_1 = 150 (2.7/3.926)^3 / (2.7)^2$$

$= 6.7$ لوكس

الاستضاءة الرأسية هى

$$E_2 = I(\theta) \cos^3 \theta_2 / h_2^2$$

$$= 150 (.446)^3 / (1.75)^2$$

$= 4.34$ لـــوكس

مثـــال ٣

مصباحان متماثلان الشدة الضيائية لكل منهما 200 كندلا ومتساوية فى كل الاتجاهات وموضوعان على مسافة أربعة أمتار من بعضهما وعلى ارتفـاع أربعة أمتار من سطح الشارع ٠ احسب الاستضاءة على سطح الشارع أسفل أحد المصباحين وعند نقطة فى منتصف المسافة بين المصباحين ٠

الحـــل

الاستضاءة عند النقطة A شكل (2 — 9) هى

$$E_A = I / h^2 + I \cos^3 \theta / h^2$$

وعند النقطة B

$$E_B = 2\,I\cos^3\phi \;/\; h^2$$

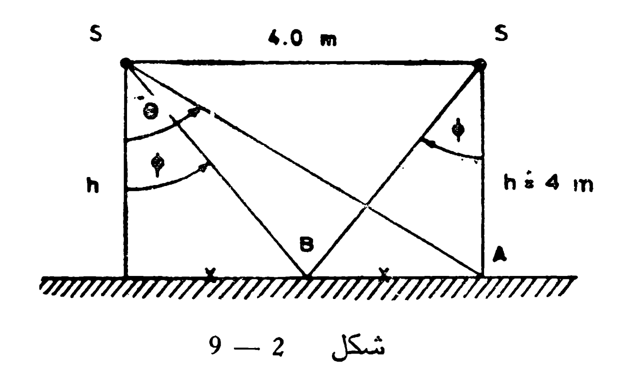
بالتعويض بالقيم المناسبة

$$E_A = 200 / 16 + 200\,(4 / \sqrt{20})^3 / 16$$

$= 21.4$ لـــوكس

$$E_B = 2 \times 200\,(1 / \sqrt{2})^3 / 16$$

$= 8.8$ لـــوكس



شكل 2 — 9

مثـــــال ٤ :

وضع مصباح ذات شدة ضيائية 160 كندلا ومتساوية فى جميع الاتجاهات أسفل مرآة أفقية وعلى بعد متر واحد منها · اذا وضعت منضدة أفقية على بعد أربعة أمتار من المصباح أوجد الاستضاءة عند نقطـــة على سطح المنضدة تبعد ثلاثة أمتار من الخط الرأسى الساقط من المصباح على المنضدة · اعتبر أن المرآة تعكس 80% من الضوء الساقط عليها · شكل (2 — 10) .

الحــــــل :

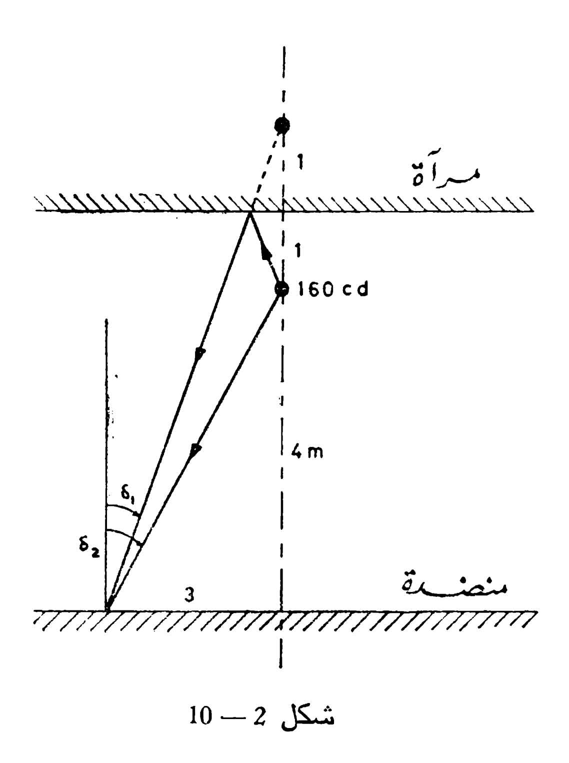
الاضاءة على سطح المنضدة تنتج عن المصباح نفسه كما هو مبين بشـكل (2 — 10) وعلى ذلك تكون الاستضاءة الكلية عند النقطة المعينة هى

$$E = E_1 + E_2$$

حيث E_2 هى الاستضاءة المباشرة و E_1 هى الاستضاءة المنعكسة ·

$$E_1 = I \cos \delta_1 / d_1^2$$

$$E_2 = I \cos \delta_2 / d_2^2$$



شكل 2 — 10

حيث

$$d_1^2 = 3^2 + 4^2 = 25$$

$$d_2^2 = 3^2 + 6^2 = 45$$

$$\cos \delta_1 = 4/5 = 0.80$$

$$\cos \delta_2 = 6 / \sqrt{45} = 0.89$$

بالتعويض عن هذه القيم مع $I = 160$ نحصل على

$E = 5.12 + 2.53 = 7.65$ لوكس

6.2 منابع ضوئية مرتبة فى صف :

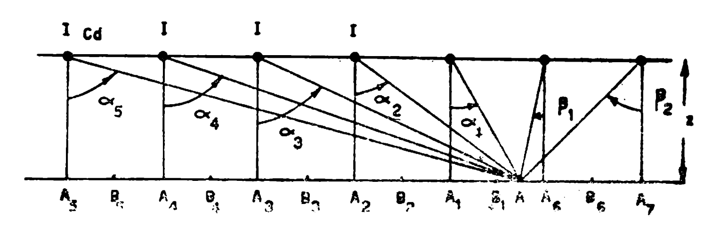
عند تصميم الاضاءة فى ممرات طويلة أو فى شوارع يلزم وضع عـدد من المصابيح فى صف أو صفوف • اعتبر مجمـوعة من المصابيح مرتبة فى صف

أفقى كما هو مبين فى الشكل (2 — 11) • الاستضاءة عند النقطة A علـى المستوى الافقى أسفل خط المصابيح هى

$$E_A = I\alpha_1 \cos^3 \alpha_1 / z^2 + I \alpha_2 \cos^3 \alpha_2 / z^2 + ... \quad (26 — 2)$$

حيث $I_{\alpha i}$ هى الشدة الضيائية من المصباح رقم A عند النقطة المعينة واذا اعتبرنا الكثافة الضوئية لكل المصابيح متساوية فى كل الاتجاهات

$$E_A = (I/z^2) (\cos^3\alpha_1 + \cos^3 \alpha_2 + ... + \cos^3 \beta_1 + \cos^3 \beta_2 + ...) \quad (27 — 2)$$



شكل 2 — 11 منابع ضوئية مرتبة فى صف

والان دعنا نتساءل عن الاماكن التى بها أقصى اضـــاءة والتى بها أدنى اضاءة على نفس الخط الافقى • من الواضح أن النقط التى عندها أقصى اضاءة تقع تحت المصابيح مباشرة $(A_1 , A_2 , A_3 ,...)$ والتى بهـــا أنى اضـــاءة تقع عند منتصف المسافة بينهما $(B_1 , B_2 , B_3 , ...)$ ويكون

$$E_{A1} = E_{A2} = ... = (I/z^2) (1 + 2 \cos^3 \alpha_1 + 2 \cos^3 \alpha_2 + ...) \quad (28 — 2)$$

$$E_{B1} = E_{B2} = ... (2I/z^2) (\cos^3 \alpha_1 + \cos^3 \alpha_2 + ...) \quad (29 — 2)$$

ويلاحظ أنه فى الحالتين يؤول مقدار $\cos^3 \alpha_i$ الى الصفـــر سريعـــا بحيث انه عمليا يكتفى بحدين أو ثلاثة على الاكثر •

ومن النـــاحية العملية يراد أن تكون النسبة E_A/E_B أقرب ما يمكن للواحـــد الصحيح ويمكن تحقيق ذلك بتوزيع مناسب للكثافة الضـــوئية من المصابيح باستخدام فوانيس مناسبة تعطى كثافة ضوئية صغيرة فى اتجـــاه أسفل المصباح مباشرة وكبيرة فى الاتجاهات الجانبية •

مثـــال ٥

ممر طويل مضاء باستخدام مصابيح لها شـــدة ضيائية متساوية فى كل الاتجاهات وقيمتها 250 كندلا لكل منها وموضوعة على أبعاد 3.5 مـــتر من بعضها وعلى ارتفاع 3 متر من سطح الارض · أوجـــد القيمة الصغـرى للاستضاءة على سطح الارض فى هذا الممر على المحور الطولى الذى يقع أسفل المصابيح مباشرة مع اهمال جميع الانعكاسات فى هذه الحالة ·

الحـــــل :

فى هـذا المثـــال

$\cos\alpha_1 = 0.864 \qquad \cos^3\alpha_1 = 0.64$

$\cos\alpha_2 = 0.496 \qquad \cos^3\alpha_2 = 0.12$

$\cos\alpha_3 = 0.324 \qquad \cos^3\alpha_3 = 0.034$

$\cos\alpha_4 = 0.238 \qquad \cos^3\alpha_4 = 0.013$

$\cos\alpha_5 = 0.187 \qquad \cos^3\alpha_5 = 0.0065$

من الواضح أن قيم $\cos^3\alpha_i$ تقل بسرعة مع ازدياد قيمة i وتكـون القيمة الصغرى للاستضاءة هى

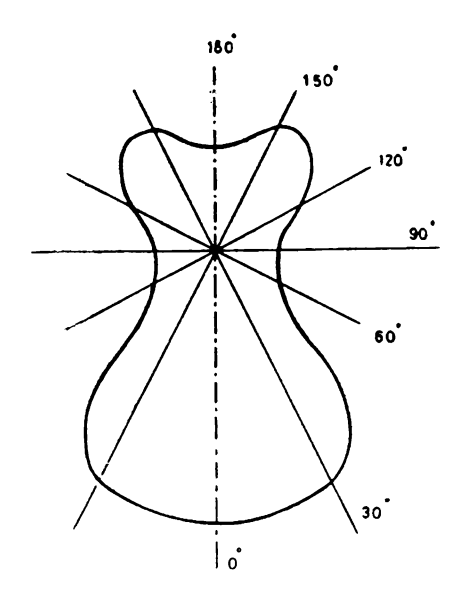
$$E = (2\times 250/9)\ (0.64+0.12+0.034\ \ +0.013+0.0065)$$

$$= 45.2 \quad \text{لـــوكس}$$

7.2 المنحنيات القطبية للشدة الاضائية

يوصف توزيع الاضاءة حول مصباح أو ثريا ما بما يعـــرف بالمنحنيات القطبية الاضائية لها · ويقع المنحنى القطبى فى مستوى يمر بمركز المصبـــاح وينشأ من تعيين متجهات تخرج كلا منها من نقطة واحـــدة هى مركز المصباح· ويمثل طول كل متجه الشدة الضيائية فى الاتجاه المحدد ويبين شـكل (2 — 12) نموذجا لمنحنى اضائى قطبى لمصباح ما ويلاحظ أن الخط الرأسى المار بالرقمين $0°$, $180°$ يمثل خط تعليق المصباح وأن المنحنى متماثل بالنسبة لهذا الخط ·

وفى معظم أنواع المصابيح التى لها محور تماثل مثل مصباح الفتيلة نجد أننا نحصل على نفس هذا المنحنى اذا أخذنا أى مستوى آخر يمر بمحور المصباح ٠ وهناك بعض أنواع المصابيح الغير متماثلة حول محور التعليق مثل مصابيح النيون ٠ فى هذه الحالة يختلف المنحنى القطبى الاضائى حسب ميل مستوى هذا المنحنى مع محور المصباح الفلورى ٠ وبناء على ذلك يعطى المنحنى القطبى للمصابيح الفلورية فى مستويين أساسيين أحدهما يمر بمحور المصباح نفسه والاخر عمودى عليه ٠



شكل 2 — 12 أنموذج لمنحنى قطبى للشدة الضيائية

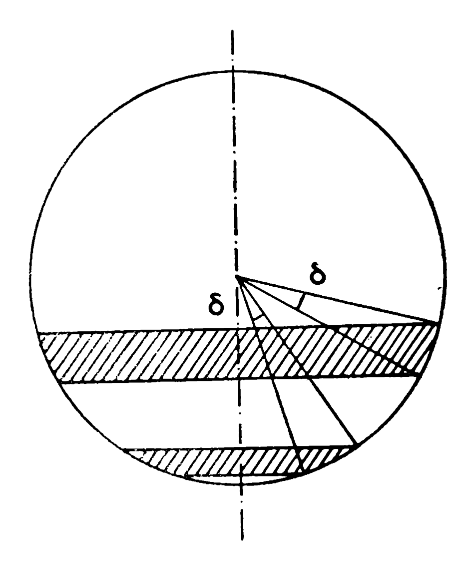
نطاقات الكثافة الضوئية :

من الشكل (2 — 13) نلاحظ أن مساحات سطح الكرة المقابلة لزاويتين عند مركز الكرة غير متساوية فنجد أن المساحة المقابلة لزاوية ما تكبر كلما مالت هذه الزاوية نحو الاتجاه الافقى ٠

كمية الفيض الضيائى على مساحة حلقة من سطح الكرة زاويتها $d\,\theta$ هى (شكل 2 — 14) ،

$$d\phi = (2\pi r^2 \sin\theta \, d\theta)\, I(\theta)/r^2$$

وبناء عليه فان كمية الفيض الضيائى بين الزاويتين θ_2 ، θ_1 هى



شكل 2 — 13 القطاعات المقابلة لمركز كرة

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} 2\pi I(\theta) \sin\theta \, d\theta = 2\pi \int_{\cos\theta_1}^{\cos\theta_2} I(\theta)\, d\cos\theta$$

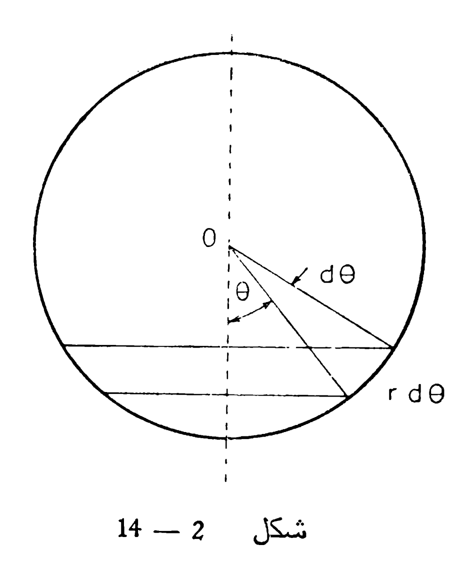
$$= 2\pi I(\theta_{12}) (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

حيث $\theta_{12} = (\theta_1 + \theta_2)/2$ و $I(\theta_{12})$ ' هى القيمة المتوسطة للشــدة الضيائية • ومن الواضح أنه كلما قل الفرق بين الزاويتين θ_1 ، θ_2 كلمــا كانت النتيجة أكثر دقة • لذلك تكون الزوايا التى يقسم اليها الفراغ صغــيرة فيؤخذ الفرق بينهما فى حدود عشر درجات فيقسم الفــراغ الى ثمانية عشرة منطقة يكون فيها الفيض الضيائى معطى بالعلاقات الاتية :

$$\Phi_1 = 2\pi\, I_5 (\cos 0^\circ - \cos 10^\circ) = 0.095\, I_5$$

حيث I_5 هى شدة الاضاءة عند الزاوية $(10^\circ - 0^\circ)/2$ وتبعا لذلك فان

$$\Phi_2 = 2\pi\, I_{15} (\cos 10^\circ - \cos 20^\circ) = 0.284$$



شكل 2 — 14

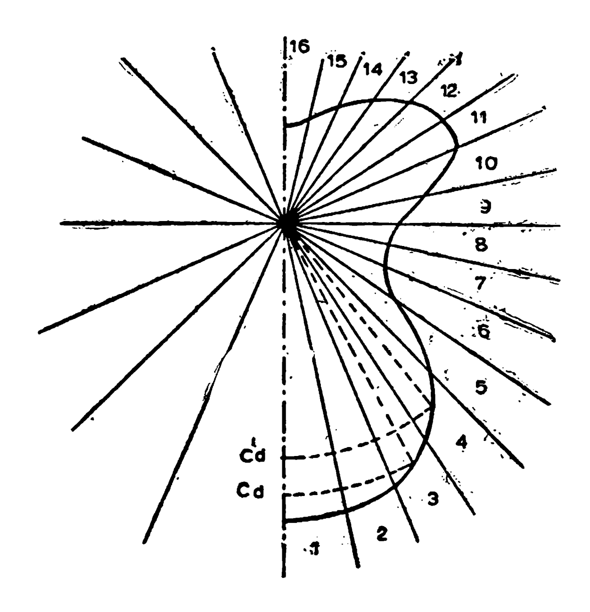
ويمكن كتابة الفيض الضوئى فى المناطق المختلفة كما هو مبين بالجدول التالى

رقم المنطقة	الفيض	رقم المنطقة	الفيض
1	$0.095\ I_{5}$	10	$1.091\ I_{95}$
2	$0.284\ I_{15}$	11	$1.058\ I_{105}$
3	$0.463\ I_{25}$	12	$0.993\ I_{115}$
4	$0.628\ I_{35}$	13	$0.897\ I_{125}$
5	$0.774\ I_{45}$	14	$0.774\ I_{135}$
6	$0.897\ I_{55}$	15	$0.628\ I_{145}$
7	$0.993\ I_{65}$	16	$0.463\ I_{155}$
8	$1.058\ I_{75}$	17	$0.284\ I_{165}$
9	$1.091\ I_{85}$	18	$0.095\ I_{175}$

ويمكن تقسيم الفراغ الى مناطق عددها أصغر أو أكبر من 18 مثلما هو واضح فى شكل (2 — 15) حيث عدد المناطق 16. وحيث أنه يمكن قياس المنحنيات القطبية الاضائية لاى منبع باستخدام أجهزة الفوتومتر فانه يمكن قياس الفيض الضيائى الكلى Φ الخارج من المنبع بجمع قيم الفيض الضيائى فى النطاقات المختلفة

$$\Phi = \sum_{i=1}^{18} \Phi_i$$

وبالتالى يمكن حساب القـــدرة التأثيرية الضيائية لاى مصباح ٠ وذلك بقسمة Φ على الطاقة الكهربية التى يستهلكها المصباح ٠



شكل 2 — 15 نطاقات الشدة الضيائية

مثـــــال 1 :

مصباح معلق على ارتفاع ستة أمتـــار من أرض مستوية احسب المنحنى القطبى الاضائى للمصباح اذا كانت الاستضاءة 5 لوكس ومتساوية على دائرة على سطح الارض مركزها هو مسقط المصباح ونصف قطرها 20 **متر** ٠

الحــــــل :

الاستضاءة الافقية (معادلة 2 — 20) هى

$$E = I(\theta)\cos^3\theta / h^2 = 5 \quad \text{لـــوكس}$$

لذلك يكـــون

$$I(\theta) = 5\, h^2/\cos^3\theta$$

$$= 180 / \cos^3\theta \qquad\qquad 0 \leqslant \theta \leqslant \theta_1$$

حيث θ الزاوية بين العمودى من المصباح الى سطح الارض والخط المائل المقاس فى اتجاهه الشدة الضيائية $\theta_1 = 73^0$

مثـــــال 2 :

مصباح له منحنى قطبى ضيائى معطى بالمعادلة

$$I(\theta) = I_0 (1 + 0.7 \cos\theta)$$

فاذا كان الفيض الضيائى الخارج من المصباح هو 6300 لـومن أحسب النسبة السفلية للفيض الضيائى لهذا المصباح •

يمكن الحصول على قيمة I_0 كالاتى :

$$\phi = \int_0^{\pi} I(\theta)\, 2\pi \sin\theta\, d\theta$$

$$= 2\pi I_0 \int_0^{\pi} (1 + 0.7\cos\theta) \sin\theta\, d\theta$$

$$= 4\pi I_0$$

ومنه نستنتج أن

$$I_0 = 6300/4\pi = 501.3$$ كنـــدلا

الفيض الضيائى الساقط أسفل المصباح هو

$$\phi_d = \int_0^{\pi/2} I(\theta)\, 2\pi \sin\theta\, d\theta$$

$$\Phi_d = 2\ \pi \times 501.3 \int_0^{\pi/2} (1 + 0.7 \cos\theta) \sin\ \theta\ d\theta$$

$= 4252$ لـــومن

النسبة السفلية للفيض الضيائى هى نسبة الفيض أسفل المصباح الى الفيض الكلى الخارج منه وهى فى هذه الحالة

$$4252/6300 = 0.67$$

8.2 الفتــومترات (Photometers)

الفتومتر هو جهاز لقياس الطاقة المشعة فى الجزء المرئى من الطيف ويوجد نوعان من الفتـــومترات : الفتــومترات الابصـــارية (Visual Photometers) والفتومترات الفتوكهربية (Photoelectric Photometers) وتوجـــد أجهــزة مختلفة لكل من هذين النوعين على حسب وظيفة كل جهاز أى على حسب الكمية الضوئية التى يقوم بقياسها ٠ فهناك فتومترات لقياس الشـدة الضيائية أو الفيض الضيائى أو الاستضاءة أو النصوع أو توزيع الضـــوء أو الانعكاسية الـــخ ٠٠٠٠

والفتومترات الابصارية تعتمد أساسا على القدرة الادراكية للعـين حيث تستخدم العين لمقارنة نصوع سطحين أحدهما مضاء بمنبع قياسى والثــانى مضاء بالمنبع المراد قياسه ويتم مطابقة نصوع السطحين بتغيير بعـد المنبع القياسى من السطح وتحديد النتيجة باستخدام قانون التربيع العكسى ٠

أما الفتومترات الفتوكهربية فهى لا تعتمد على الادراك العينى ولـذلك فهى أدق بكثير من الفتومترات الابصارية وفيها تستخدم خلية كهربية تحول الضوء الساقط عليها الى تيار كهربى بكفاءة فى حدود جزء من عشرة أمبير/سم٢ لـكل لومن ٠ ويكفى مقدار التيار المولد لتشغيل جهاز ميكرو أمبير أو جلفـــا نومتر مدرج مباشرة بالوحدات المراد قياسها ٠ وجدير بالذكر أن الاستجابة الطيفية للخلايا الكهربية الضوئية تختلف تماما عن استجابة عين الانسان ولذلك فهى تستخدم دائما فى مرشحات ضوئية خاصة لتصحيح هذا الاختلاف ٠

9.2 الفتومتر الكروى التكاملى (Integrating Sphere Photometer)

يستخدم هذا الجهاز لقياس مقدار الفيض المنبعث من مصباح ما ٠ ويتكون الجهاز من كرة مفرغة كبيرة الحجم سطحها الداخلى ناعم منتظم ومغطى بدهان أبيض بحيث يمكن اعتباره سطح ناشر تام وعاكس منتظم للضوء ٠ ونصف قطر هذه الكرة كبير بالمقارنة بأبعاد المصابيح المستخدمة فى القياس بحيث يجب أن لا تزيد النسبة بين أبعاد المصباح المستخدم وقطر الكرة عن واحد الى ستة٠ وتتكون الكرة من نصفين أحدهما متحرك على قضبان مناسبة والاخر ثابت بحيث يمكن وضع المصباح تحت الاختبار داخل الكرة ٠

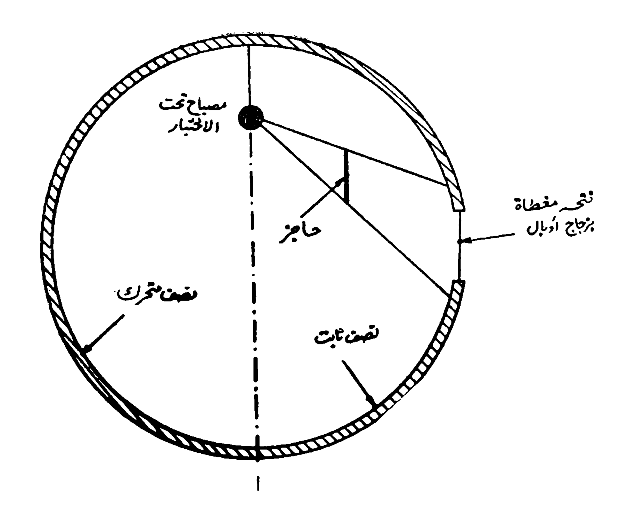
عند وضع أى مصباح داخل هذه الكرة ينعكس الضوء من أى نقطة على السطح الداخلى الى جميع النقط الاخرى بحيث تصبح الاستضاءة عند أى نقطة مكونة من جزئين : جزء ناتج عن الفيض الضيائى الذى يصلها مباشرة من المنبع وجزء ناتج عن الفيض الضيائى المنبعث من السطح الداخلى للكرة ٠ ومن الواضح أن الاستضاءة (وبالتالى النصوع) عند أى نقطة من السطح الناتجة عن الضوء المنعكس فقط تتناسب طرديا والفيض الكلى للمنبع بغض النظر عن كيفية توزيع هذا الفيض أى أنه لا يشترط أن يوضع المنبع فى مركز الكرة بل يمكن وضعه فى أى مكان داخلها ٠ ويمكن قياس هذا الجزء من الاستضاءة باستخدام فتحة مناسبة مغطاة بزجاج عالى النشر (زجاج أوبال) مع حجبها من الاضاءة المباشرة من المنبع (شكل 2 — 16)

اعتبر أن الفيض الضيائى من المنبع هو Φ وأن معامل انعكاس السطح الداخلى للكرة هو r وأن مساحته A فتكون الاستضاءة المباشرة من المنبع هى ϕ / A ٠ وتنعكس كمية من الفيض مقدارها $r\phi$ لها استضاءة $r\phi/A$ والكمية المنعكسة $r\phi$ تسقط على السطح مرة أخرى لينعكس منها $r(r\phi)$ وهكذا نجد أن الاستضاءة على السطح الداخلى للكرة هى

$$\phi / A + r\phi / A + r^2 \phi / A + \ldots\ldots$$

$$= (\phi / A)(1 + r + r^2 + r^3 + \ldots\ldots\ldots)$$

$$= \phi / (1 - r) A$$ لوكس



شكل 2 — 16 فتومتر كروى تكاملى

والاستضاءة المقاسة هى هـــذه الكمية ناقص الاستضاءة المباشرة ϕ / A أى أن

$$E = \phi / (1 - r) A - \phi / A$$
$$= [r / (1 - r)] \phi / A$$

وحيث أن كلا من r و A معلومتان فانه بقياس E نحصل عـلى كميـة الاضاءة المنبعثة من المنبع ·

مثــــــــال :

وضع مصباح داخـــل الفتومتر الكروى التكاملى بغـــرض قياس الفيض الضيائى المنبعث منه فاذا كان نصف قطـــر كرة الفتومتر هى 65 سنتيمتر ومعــــامل الانعكـــاس له 84% وكانت الاستضاءة الغـير مباشر المقاسة من الفتحة هى 1200 لوكس أحسب كمية الفيض الضوئى المنبعثة من المصباح ·

بالتعويض فى العلاقة السابقة

$$1200 = [0.84 / (1 - 0.84)] \phi / 4 \pi (0.65)^2$$

ومنها نحصل على

$\phi = 1213$ لــــومن

الفصل الثالث

المصـــابيح الكهربيــة

المصباح الكهربى ، أيا كان نوعه ، ليس الا أداة لتحويل الطاقة الكهربية الى طاقة ضــوئية وذلك عن طريق مرور تيار كهربى عبر وسط قد يكون صلبا (المصباح المتوهج) أو سائلا (مصباح قوس الكربون) أو غازيا (مصابيح التفريغ الغازى)· وتوجد أصناف عديدة من المصابيح الكهـربية يختلف كل صنف عن الاخر من حيث التصميم والاداء على حسب الغــرض من استخدام المصباح· فهناك مصابيح للانارة ومصـــابيح للاغراض الطبية (مثل مصابيح الشمس ومصابيح قاتلة الجــراثيم) ومصابيح لاغراض الاشارة ومصابيح لاغــراض التصوير والسينما (مصابيح الزينون)· وأنواع المصابيح التى تهمنا هنــا هى تلك المصــابيح التى تستخدم أساسا لغرض الانارة أى كمصــدر للاضــاءة الاصطناعية · ويمكن تصنيف هذه المصابيح كالاتى :

١ ــ المصابيح الفتيلية (filament lamps) وتتضمن :

أ) المصباح المتوهج incandescent lamp

ب) مصباح التنجستن ــ هالوجين tungsten - halogen lamp

٢ ــ مصابيح التفريغ الغازى (gas - discharge lamps) وتتضمن :

أ) المصباح الفلورى fluorescent lamp

ب) مصباح الصوديوم ذات الضغط المنخفض
low pressure sodium lamp (SOX)

ج) مصباح الصوديوم ذات الضغط العالى
high pressure sodium lamp (HPS)

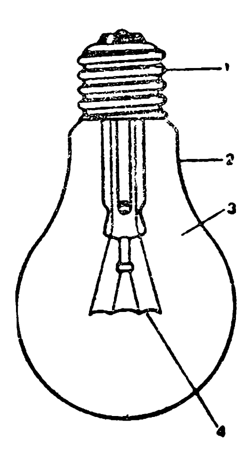
د) مصباح الزئبق ذات الضغط العالى
high pressure mercury lamp (HPM)

هـ) مصباح الهاليد المعدنى metal halide lamp

تعتبر أصناف المصابيح ب الى ه مصابيح تفريغ لها شدة استضاءة عالية٠ وسوف نتناول فيما يلى وصف المصابيح المذكورة أعلاه كل نوع على حده ٠

1.3 المصبــاح المتــوهج

ويتكون المصباح المتوهج (شكل 3 - 1) من فتيلة شديدة المقاومة للصهر مركبة داخل غلاف مفرغ بصيلى الشكل مصنوع من الزجاج الشفاف أو المسنفر وله قاعدة من النحاس لاتمام التوصيل الكهربى بين الفتيلة والمنبع وذلك عن طريق دواة تناسب القاعدة ٠ وقد تكون القـــاعدة اما لولبية (قلاووظ) أو بها مسمارين ٠ وعند مرور تيار كهربى فى الفتيلة ترتفع حرارتها الى درجة عالية جدا تجعلها متوهجة وباعثة للضوء ٠

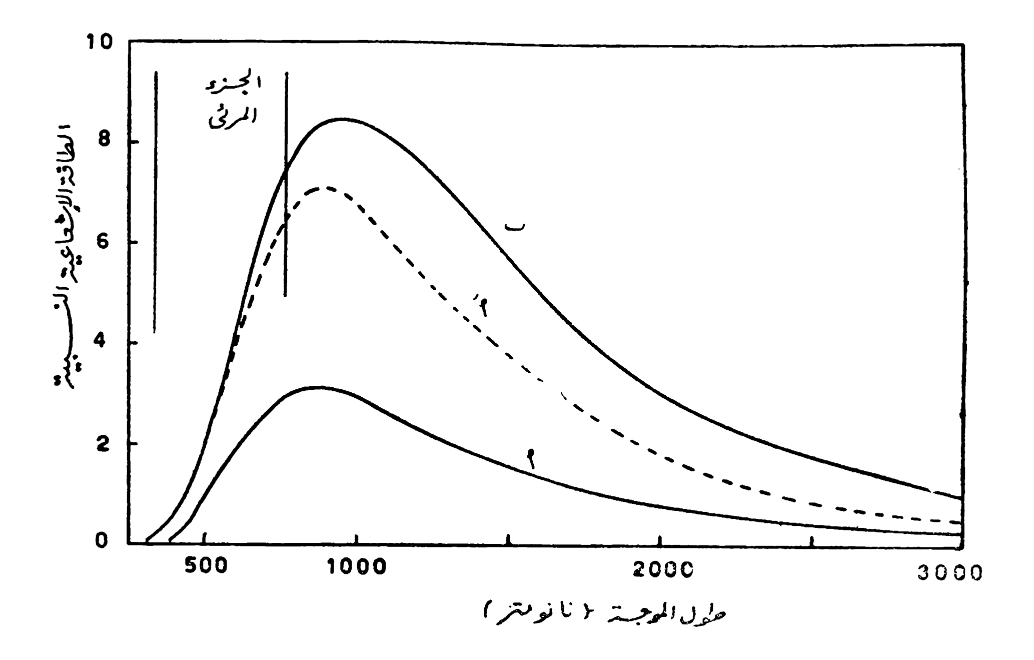


شكل 3 — 1 الاجـــزاء الاساسية لمصباح متوهج ٠ 1. القـــاعدة ٠ 2. غلاف زجاجى ٠ 3. حجم مفرغ أو به غاز خامل ٠ 4. الفتيلة ٠

ويجب أن تكون لمادة الفتيلة الخواص الاتية : درجة انصهار عالية ، ضغط بخار منخفض ، متانة عالية ، مطيلية عالية وخصائص اشعاع ومقاومة كهربية مناسبة ٠ وقد وجد أن انسب مادة لها جميع هذه الخواص هى التنجستن ٠ ويبين الشكل 2 — 3 الطاقة الاشعاعية الطيفية الصادرة من مساحة قـدرها سنتيمتر مربع واحد وذلك للتنجستن (منحنى أ) ولجسم أسود (منحنى ب) وكليهما عند درجة حرارة 3000^{o} ك٠ ويمثل المنحنى (أ) الطيف الاشعاعى لمساحة

2.27 سم٢ من التنجستن عند 3000° ك ، وله نفس كمية الاشعاع الواقع فى الجزء المرئى من الطيف كمنحنى الجسم الاسود (ب)٠

وتبين هذه المنحنيات أن لنفس كمية الاشعاع الواقع فى الجـزء المرئى من الطيف ولنفس درجة الحرارة فان التنجستن يشع 75% فقط من الاشعاع الكلى الناتج من جسم أسود وأن فقط نسبة صغيرة من هذا الاشعاع تقع فى الجـزء المرئى من الطيف ٠ وقد أوضحت التجـارب أن كلما ارتفعت درجـة حرارة التنجستن كلما زادت هذه النسبة ولذلك فان القدرة التأثيرية الضيائية للمصباح المتوهج تعتمد أساسا على درجة حرارة الفتيلة ٠ وقيمة هذه القدرة عند درجـة انصهار التنجستن (3655°ك) هى 53 لومن/وات ٠



شكل 3 — 2 الطاقة الاشعاعية الطيفية للتنجستن (أ) ولجسم أسود (ب)

ويعتمد عمر المصباح أساسا على درجة حرارة الفتيلة ، فكلما ارتفعت درجة حرارتها كلما قصر عمرها نتيجة لزيادة معدل تبخرها ٠ والتوصل الى توافـق بين عمر المصباح وبين قدرته الضيائية هى مسألة اختيارية ٠ فاطالة العمـر يعنى اضاءة ضعيفة والحاجة الى عدد أكبر من المصابيح واستهلاك عالى للطاقة

الكهربية فى حين أن رفع القدرة الضيائية يؤدى الى معـــدل كبير فى تبـديل المصابيح وبالتالى الى زيادة كبيرة فى ثمن الاضاءة • وقـــد وجد أن 1000 ساعة كعمر للمصباح هو التوافق الامثل بين العمر والقدرة الضيائية حيث أن هذا الرقم يحقق أقل تكلفة لكل وحدة قدرة ضيائية •

لقد كان عام ١٩٧٩ العيد المئوى للمصباح المتوهج ذى الفتيلة وهـو أول مصباح كهربى انتج بالجملة وكان الركن الاساسى لقيام وتطور صناعة المصابيح الكهربية بمختلف أنواعها • ورغم قدمه وقدرته التأثيرية الضيائية المنخفضة (10 — 15 لومن/وات) ، فانه مازال أكثر الانواع استخداما خاصة فى الاضاءة المنزلية • ويرجع ذلك الى ملاءمته ، ولون ضوءه وأمانته العـالية لنقل الالوان (100) ورخص ثمنه • وجدير بالذكر أن هذا المصباح لم يتغير منذ ظهـوره ، لا من حيث شكله البصيلى ولا من حيث مبدأ التشغيل ولعـــل أهم خطوة فى تطويره جـــاءت عام ١٩١٥ عندما أمكن استبدال الفتيلة المصنوعة من الكربون بفتيلة مصنوعة من التنجستن•

وجدير بالذكر أن التنجستن المستخدم حديثا فى تصنيع الفتيلة (بواسطة ميتالورجيا المساحيق) به كميات صغيرة من بعض العناصر (عادة الالـومنيوم والبوتاسيوم والسليكون) حيث وجد أن اضافتها يؤدى الى تحسين كبـير فى الصلابة الميكانيكية للفتيلة •

تصل المقاومة الكهربية لفتيلة التنجستن عند حرارة التشغيل الى ما بين 12 و 14 ضعف المقاومة عند حرارة الحجرة ولذلك فان التيار المار بها عنـد بدء التشغيل يصل الى حوالى 14 ضعف التيار المقنن للمصباح ثم يتضاءل الى التيار المقنن بعد حوالى 0.05 الى 0.1 ثانية

وتنصهر الفتيلة وينتهى عمر المصباح نتيجة لتكوين ماتسمى ببقعة ساخنة (hot spot) على الفتيلة • وتظهـر هـذه البقعة نتيجة لوجـود عيب محـدد الموقع فى الفتيلة تكون درجة الحرارة عنده فى بادىء الامر أعلى بقليل عن درجة حرارة باقى الفتيلة • ويزداد هذا الفارق فى درجة الحرارة تدريجيا بازدياد زمن اضاءة المصباح حيث أن التنجستن يتبخر من موقع العيب بمعدل أكبر من باقى الفتيلة مما يؤدى فى آخر الامر الى انصهار الفتيلة عند منطقة العيب • ويحدث هذا عادة لحظة اشعال المصباح نظرا لكبر التيار الاولى •

وقد كانت المصابيح المتوهجة فى بادىء الامر مفرغة تماما من الهــواء لمنع أكسدة الفتيلة وفقد الحرارة ، وكانت الفتيلة نفسها مستقيمة والقدرة الضيائية للمصباح لا تزيد عن حوالى 9 اومن/وات٠ وكان من أهم عيوب هذه المصابيح ظاهرة «التسويد» ، وهى تكوين غشاء منتظم عاتم على السطح الداخلى للبصيلة نتيجة ترسب التنجستن المتبخر من الفتيلة ٠ ويزداد هذا التسويد عتامة مــع استخدام المصباح ويؤدى الى انخفاض ملموس ومتزايد فى قدرته الضيائية ٠ وقد وجد أن استخدام خليط من غاز الارجون (90%) وغاز النتروجين (10%) عند ضغط منخفض يقلل من تبخر التنجستن من الفتيلة ولذا يمكنها أن تعمــل عند درجة حرارة أعلى بكثير من المصباح المفرغ٠ ولكن تبين أن وجـــود الغاز يتسبب فى تبريد الفتيلة نتيجة لتيارات الحمـــل ، وأمكن التغلب عــلى ذلك باستخدام فتيلة على شكل ملف ضيق حيث أثبتت الابحاث أن الفقد الحرارى يتناسب وطول الفتيلة ولكنه لا يتأثر بقطرها ٠ وبذلك أمكن رفـــع القـــدرة الضيائية الى 11 اومن/وات ٠ وباستخــدام فتيــلة عــلى شكل ملف ملفوف (coiled coil) أمكن رفــع هــذه القـــدرة الى 13 لومن/وات وذلك بدون أى انخفاض فى عمر المصباح ٠

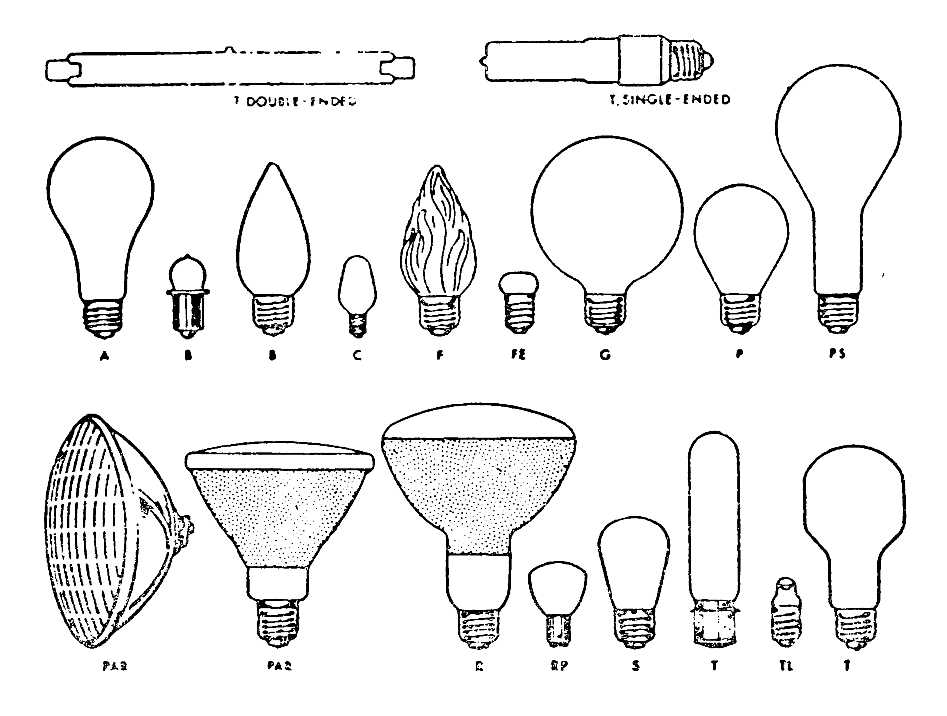
قدرة الدخل 100 وات
الإشعاع الخارج فعلا من البصيلة 82
فقد حرارى (توصيل) 18
ضوء 10
اشعاع حرارى 72

شكل 3 — 3 موازنة الطاقة لمصباح متوهج قدرته 100 وات ٠

ويبين الشكل 3 — 3 رسم موازنة الطاقة بالنسبة لمصباح متوهج قدرته 100 وات ٠ ويعطى الشكل 3 — 4 بعض الاشكال المختلفة للبصيلة الزجاجية٠ وقد يكون الزجـــاج شفافا أو مسنفرا من الداخل ٠ ومن مزايا الزجاج المسنفر حجب الفتيلة الناصعة ونشر الضوء وتخفيف حدة الظلال بدون أى انخفاض فى القدرة الضيائية ٠ ولبعض الاستخدامات تكون البصيلة مفضضة كلية أو جزئيا من الداخل وفى هذه الحالة يجب مراعاة استخدام الدوى الخاصة بهذه المصابيح

حيث أن هذه الدوى تعمل عند درجات حـرارة أعلى بكثير من دوى المصـابيح العادية نظرا لانعكاس الحرارة من الاسطح المفضضة ٠

يصحب أى تغير فى الجهد المقنن للمصباح تغيرا فى كل من الخصـائص التالية للمصباح : المقاومة الكهربية ، درجة الحرارة ، التيار ، القدرة ، الكفاءة الضوئية والعمر ٠ ويبين الشكل 3 — 5 تأثير الجهد على هذه الخصائص ٠



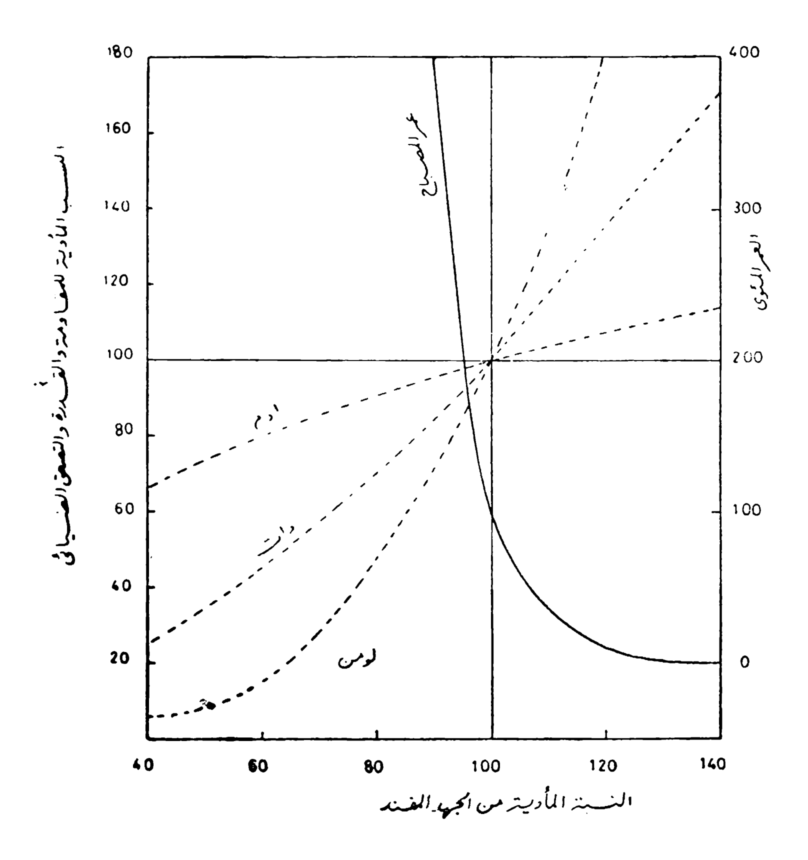
شكل 3 — 4 بعض الاشكال المختلفة للبصيلة الزجاجية

ان درجة حرارة التى يصل اليها المصباح عند التشغيل لها أهمية كبيرة من الناحية العملية ٠ وذلك للاسباب الاتية :

أ) ارتفاع درجة الحـرارة قد يؤدى الى انخفاض عمر المصباح عن طريق تفكك الاسمنت اللاصق بين القاعدة النحاسية والبصيلة الزجاجية أو التصدير المستخدم فى لحام السلوك الموصلة من الفتيلة الى القاعدة ، وأيضـا الى تلف الدواه والسلوك الواصلة بها ٠

ب) ارتفاع درجة الحـــرارة قد يكون غير آمنا بالنسبة للمواد القـــابلة للاحتراق المصنع منها ناشر الضوء أو المواد المجاورة له ٠

ج) فى بعض الاستخدامات التى يكون فيها الجو المحيط بالمصباح ملـوثا ببعض الاتربة القابلة للاشتعال قد يتسبب أى ارتفاع فى درجة حرارة المصباح فى نشوب حريق ٠

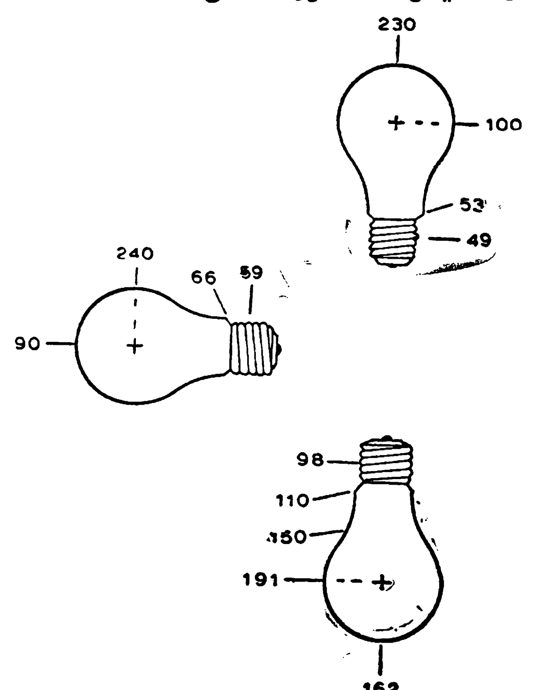


شكل 3 — 5 تأثير الجهد على خصائص المصباح المتوهج

وتختلف درجة الحرارة من نقطة لاخرى على سطح المصباح كمـــا تختلف قيمتها عند أى نقطة باختلاف وضع المصباح أثناء تشغيله ٠ ويبين الشـــكل 3 — 6 التوزيع الحرارى لمصباح قدرته 100 وات وذلك للثلاثة أوضـــاع الاكثر استخداما ٠

2.3 مصباح التنجستن ـ هالوجين

لقد ذكرنا أعلاه أن تبخر التنجستن يؤدى الى ظاهرة التسويد • ووجود الغاز الخامل يقللها ولكن لا يمنعها كلية • والتسويد هذا يخفض القدرة الضيائية للمصباح ويتسبب أيضا فى ارتفاع درجة حرارة البصيلة (نتيجة لامتصاص الاشعاع الحرارى) مما يضع حدا أدنى لحجم البصيلة بالنسبة للقدرة المقننة للمصباح • وقد أمكن التغلب تماما على هذه الظاهرة فى مصباح التنجستن ـ هالوجين وهو مصباح متوهج يحتوى،بالاضافة الى الغاز الخامل ، كمية صغيرة من أحد الهالوجينات (الفلور والكلور والبروم واليود) التى تولد دورة استرجاع التنجستن • ويمكن تلخيص هذه الدورة كالاتى :

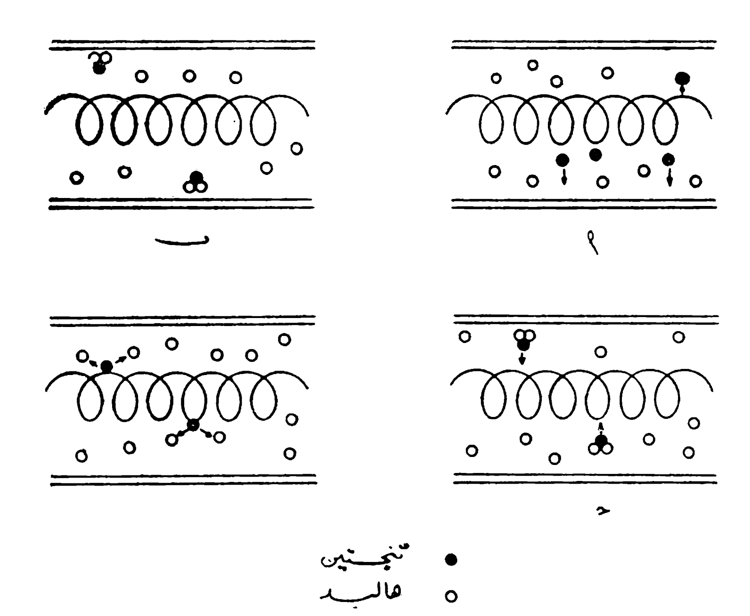


شكل 3 — 6 توزيع درجات الحرارة لمصباح قدرته 100 وات فى ثلاثة أوضاع مختلفة • (الدرجات المبنية هى درجات مئوية)

يتفاعل التنجستن (W) المتبخر من الفتيلة المتوهجة (شكل 3 — 7 أ) وذلك أثناء انتشاره نحو الغلاف الخارجى ، مع الهالوجين (X) ليكونا غاز هاليد التنجستن (شكل 3 — 7 ب) :

$$W + nX \rightleftarrows WXn$$

وتمنع درجة الحرارة العالية للغلاف ترسيب جزيئات هذا الغاز فترتد نحو الفتيلة (شكل 3 — 7 جـ) وعند الاصطدام بها ونتيجة لدرجة حرارتها العالية جدا تتفكك الى تنجستن وهالوجين ويترسب التنجستن على الفتيلة (شكل 7 — 3 د) • ومن الناحية النظرية فانه يجب بهذه الدورة الاسترجاعية أن يكون عمر المصباح لا نهائيا ، ولكن عمليا هذا لا يحدث • فبرغم عدم وجود أى فقد صافى فى التنجستن من الفتيلة الا أن ذرات التنجستن المسترجعة اليها تترسب تفضيليا على أجزاء الفتيلة الاكثر برودة ، أى أن هناك انتقال كمية من التنجستن على محور الفتيلة نفسها مما يؤدى فى المدى الطويل الى تكوين بقعة ساخنة واحتراق الفتيلة •



شكل 3 — 7 دورة استرجاع التنجستن فى مصباح التنجستن - هالوجين

وحيث أن دورة الاسترجاع تتطلب أن تكون درجة حرارة سطح الغلاف عالية ، فلذلك يصنع الغلاف من زجاج الكوارتز •

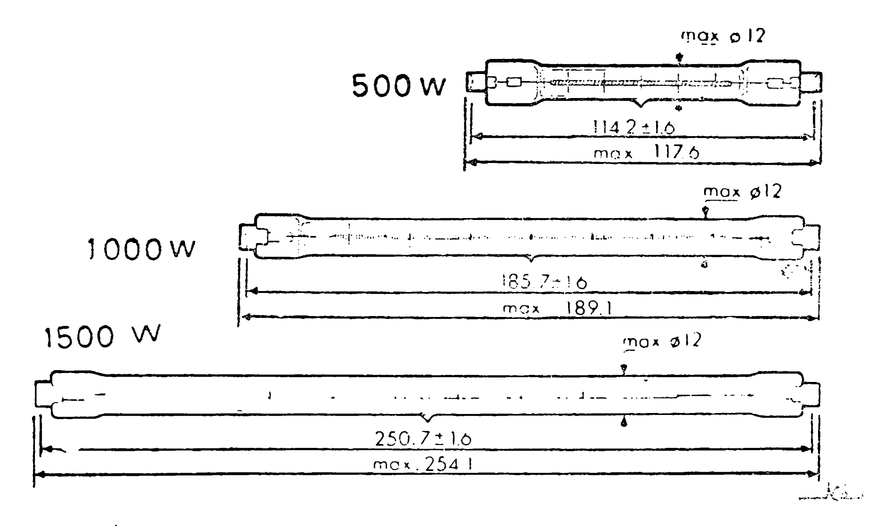
ويمكن تلخيص مزايا الدورة الاسترجاعية فيما يلى :

أ) التخلص التام من ظاهرة التسويد مما أدى الى خفض حجم الغلاف الزجاجى الى 90% من حجم مصباح متوهج عادى له نفس القدرة •

ب) نتيجة للصلابة الميكانيكية العالية لمادة الكوارتز فقد أمكن زيادة ضغط الغاز داخل الغلاف الى ثلاثة أمثال الضغط داخل المصباح العادى • ونظرا لصغر الانبوبة فقد أمكن أيضا استخدام الغازات الخاصة مثل الكربتون والزينون التى لها كثافة أكبر من غاز الارجون وذلك رغم غلو ثمنها •

وقد أدت هذه المزايا الى اطالة عمر المصباح الى ضعف (أى 2000 ساعة) عمرالمصباح المتوهج والىزيادةالقدرة الضيائية الى 21 لومن/وات مع الاحتفاظ بأمانة نقل ألوان عالية (100) • ويبين الشكل 3 — 8 الابعاد الرئيسية لمصابيح تنجستن ـ هالوجين لها قدرات مختلفة •

ورغم أن هناك صعوبات تقنية مازالت تحول دون انتاج مصباح تنجستن ـ هالوجين له قدرة أقل من 300 وات ويعمل بجهد 220/110 فولت لاستخدامه فى الاضائة المنزلية ، الا أن هذا النوع من المصابيح له استخدامات أخرى كثيرة وخاصة تلك التى تحتاج الى قدرة صغيرة واضاءة عالية النصوع وأمانة عالية لنقل الالوان • وأهم هذه الاستخدامات هى اضاءة أجهزة السينما وأجهزة تسليط الشرائح ومصابيح السيارات والاضاءة فى المسارح والاضاءة الخارجية والاضاءة الغامرة (flood lighting) للملاعب ونقل الاذاعات الخارجية على التليفزيون ، وكذلك عروض الصوت والضوء •



شكل 3 — 8 الابعاد الرئيسية لمصابيح تنجستن هالوجين ذات قدرات مختلفة

3.3 مصابيح التفريغ الغازى

1.3.3 نبـذة عـامة عن مصابيح التفريغ

يعتبر الضوء الناتج عن التفريغ الكهربى (الانهيار) فى الغازات ظــاهرة جانبية لهذا التفريغ ولكنها ظاهرة هامة جدا بالنسبة للاضاءة • والسبب فى ظهور الضوء هو أن بجانب الالكترونات التى لها طاقة حــركية كافية لتأيين ذرات الغاز ، يوجد أيضا عديد من الالكترونات التى لها طــاقة حركية تكفى لاستثارة الذرات • فالاستثارة فى الغازات الخاملة ، وأبخرة المعادن عند الضغوط المنخفضة يصحبها الابتعاث للخطوط الطيفية الخاصة بالذرة المستثارة • ويقع جزء من الموجات المنبعثة من ذرات النيون مثلا فى الجزء ما بعد البنفسجى من الطيف (740 انجستروم) ويمتصها الغلاف الزجاجى ويقع الجزء الاخــر من الموجات فى حدود أطوال 5400 الى 7000 أ° وينتج عنها الضوء البرتقالى الضارب الى الحمار وهو اللون المألوف للافتات الاعلانات المضيئة • واذا أردنا أن نتحكم فى لون أو كمية الضوء المشع يجب اما أن نختار غازا تقــع أطوال موجات الطيف الخاصة بذراته المستثارة داخل النطاق الاكثر حساسية بالنسبة للعين البشرية ، أو أن نجد وسيلة لتحويل الاشعاع ما بعد البنفسجى الى ضوء مرئى • وكلتا الطريقتان مستخدمة فى مصابيح التفريغ الغازى • والمصــابيح التى تستخدم الطريقة الاولى تعمل ببخار الصوديوم حيث دلت دراسة الخطوط الطيفية لذرات المواد المختلفة على أن ذرة الصوديوم لها أمثل ابتعاث ضــوئى بالنسبة للعين • أما المصابيح التى تستخدم الطريقة الثانية فتعمــل ببخار الزئبق حيث يقع أغلب الاشعاع المنبعث من ذرات الزئبق المستحثة فى الجــزء ما بعد البنفسجى من الطيف ويتم تحويله الى ضوء مرئى عن طريق كسو الغلاف الداخلى لانبوبة التفريغ بطبقة من المواد الفلورية التى تعتبر المنبــع الاساسى للضوء المرئى •

وبما أن ضغط بخار الصوديوم أو الزئبق عند درجة حرارة الحجرة منخفض جدا،فلذلك تملا أنبوبة التفريغ بغاز خامل بالاضافةالى كمية من معدن الصوديوم أو الزئبق • وعند الانهيار الكهربى لهذا الغاز (الاشعال) ترتفع درجة الحرارة ويبدأ الصوديوم أو الزئبق فى التبخر ويرتفع الضغط حتى يتواجد عــدد كاف من ذرات المعدن يتم استثارتها بواسطة الالكترونات•وحيث أن جهد الاستثارة

للغاز الخامل أكبر بكثير من جهد الاستثارة للصوديوم أو الزئبق ، فعند اتمـام الاشعال تصبح عملية الاستثارة مقتصرة تماما على ذرات البخار ٠ والغـاز الخامل يؤدى وظيفتين : الاولى كغاز بدىء والثـانية كغاز «اصطدام» أن أى وجوده يتسبب فى تحرك الالكترونات فى مسارات متعرجة ويؤدى ذلك أولا الى تسخين الغاز وثانيا الى تضاعف عـدد الاصطدامات بين الالكترونات وذرات المعدن وبذلك تضاعف احتمال الاستثارة ٠

ويجب أن نوضح هنا أن جميع مصابيح التفريغ لها اشكال واحد مشترك: الاشعال ٠ والاشعال هو تحويل غاز البدء من وسط عـازل الى وسط موصل للكهرباء والانتقال من حالة التفريغ التوهجى الى حالة التفريغ القوسى المستقر٠ والتوصل الى التفريغ التوهجى يحتاج الى جهد عالى بين الالكترودات فى حين أن القوس الكهربى يستطيع تمرير تيارا كبيرا للغاية بين الالكترودين بفارق جهد صغير بينهما ، ولتفادى احتراق المصباح يجب الحد من هذا التيـار باستخدام معاوقة فى الدائرة الخارجية فى صورة ملف كبح (ballast) على التوالى مع المصبـاح ٠

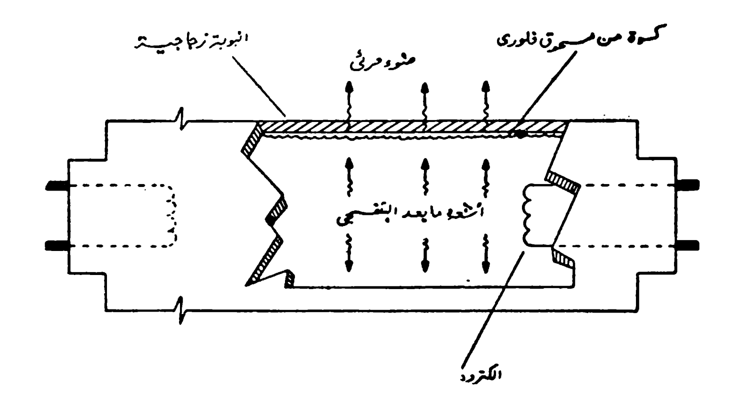
والخطوة الاولى فى عملية الاشعال ، وهى الانهيار الكهربى لغاز البـدء ، تتم اما عن طريق توليد جهد عال لفترة زمنية قصيرة أو عن طـريق تخفيض جهد الانهيار لغاز البدء ٠ ويجب الاخذ فى الاعتبار أن جهد الانهيار فى الغازات هو دالة من حاصل ضرب الضغط والمسافة بين الالكترودين (قانون باشن)ويمكن خفض هذا الجهد باستخدام خليط من غازين خاملين بدلا من غـاز واحـد ويعـرف هـذا الخليط بخليـط بننـج (Penning mixture) والخليط الاكثر استخداما هو 99% نيون و 1% أرجون وهو يستخدم أساسا فى مصابيح الصوديوم ذو الضغط المنخفض مصابيح الصوديوم ذو الضغط العالى المصنعـة خصيصا لتحل مكان مصابيح الزئبق ذو الضغط العالى ٠

أما الخطوة الثانية ، وهى الانتقال من تفريغ توهجى الى تفريغ قـوسى مستقر ، فلايمكن التوصـل اليها الا اذا كان فى استطاعة المنبـع أن يمـد الالكترودات بالطاقة الكافية ــ عن طريق التفريغ التوهجى ــ لتسخينهم الى درجة الحرارة اللازمة للابتعاث ٠ واذا كان القصور الذاتى الحرارى للالكترودات عاليا، أو كانت الطاقة المنقولة اليهم خلال فترة التفريغ التوهجى غير كافية ، فان ذلك

يؤدى الى خفض عمر المصباح بسبب البصق (sputtering) للمادة الابتعاثية الكاسية للالكترودات والذى يحدث أثناء التفريغ التوهجى ٠

2.3.3 المصابيح الفلورية

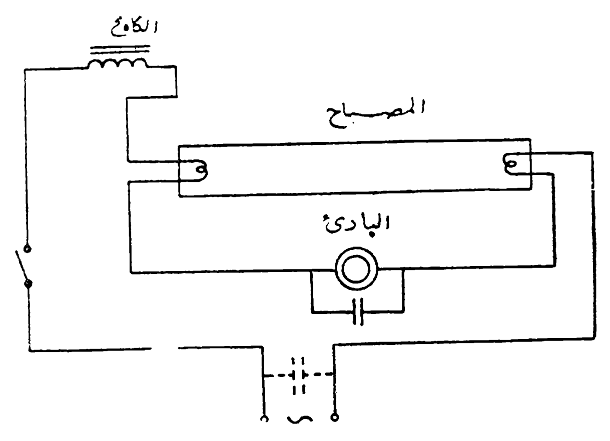
يتكون المصباح الفلورى عادة من أنبوبة زجاجية طويلة* سطحها الداخلى مكسو بمسحوق فلورى وطرفاها محكمان تماما وكل منهم مزود بالكترود (شكل 3 — 9)٠ وتحتوى الانبوبة على خليط من غاز الزئبق وغاز خامل مثل الارجون يساعد على بدء تشغيل المصباح وعلى انتشار التفريغ وعلى اطالة عمر الالكترودات٠ويتراوح ضغط بخار الزئبق بين 10^{-2} و 10^{-3} مم زئبق وضغط الغاز الخامل بين 1 و 10 مم زئبق ٠ ويعتمد مبدأ تشغيل هذا المصباح على التفريغ الغازى الذى يتم بين الالكترودين ٠ ويتولد نتيجة لهذا التفريغ اشعاع يقع أغلبه فى الجزء ما فوق البنفسجي من الطيف (254 nm) ٠ ويقوم المسحوق الفلورى بتحويل هذا الاشعاع الغير مرئى الى اشعاع مرئى حيث أن خاصية المسحوق هى امتصاص طاقة الاشعاع مافوق البنفسجي واعادة ابتعاثها كاشعاع مرئى أى كضوء ٠ ويعتمد لون هذا الضوء على نوع المسحوق الفلورى المستخدم ٠



شكل 3 — 9 الاجزاء الرئيسية لمصباح فلورى

---

* رغم أن أغلب المصابيح الفلورية لها أنبوبة مستطيلة الشكل الا أنه توجد مصابيح لها أنبوبة على شكل حرف الـ U أو دائرية الشكل ٠



شكل 3 — 10 الدائرة الكهربائية لمصباح فلورى ذات التسخين المتقدم ٠

ويمكن تقسيم المصابيح الفلورية الى ثلاثة أنواع على حسب طريقة بدء تشغيلها :

أ) مصباح ذات التسخين المتقدم (قبل بدء التشغيل) وهو يحتاج الى بادىء خاص Preheat switch start (with starter)

ب) مصباح سريع البدء ولا يحتاج الى بادىء Rapid start (no starter)

ج) مصباح لحظى البدء ولا يحتاج الى بادىء Instant start (no starter)

أ ـ المصباح ذات التسخين المتقدم

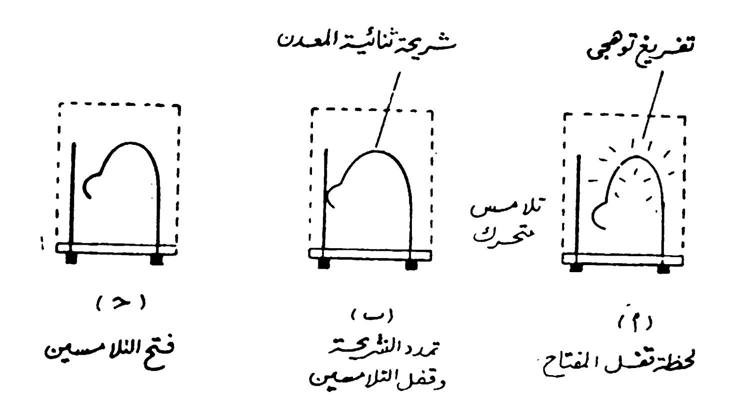
يبين الشكل 3 — 10 أبسط دائرة كهربائية يمكن استخدامها لتشغيل هذا النوع من المصابيح ٠ فلنبدأ بشرح نظرية البادىء٠ يتكون البادىء أساسا من تلامسين أحدهما ثابت والثانى متحرك ومثبت بطرف شريحة ثنائية المعدن٠ والتلامسان محكمان داخل أنبوبة زجاجية صغيرة تحتوى على غاز خامل مثل النيون أو الارجون (شكل 3 — 11) ٠ وعند قفل المفتاح يظهر جهد الخط بين التلامسين وهذا الجهد كاف لاحداث تفريغ توهجى بينهما ٠ والحرارة الناتجة عن هذا التفريغ كافية لتسخين الشريحة وتمددها مما يؤدى الى قفل التلامسين وانتهاء التفريغ ٠ وعندئذ يمر تيار عبر فتيلتى المصباح وتبدأ عملية التسخين٠ وفى خلال بضع ثوانى تكون شريحة البادىء قد بردت ويفترق التلامسان وفى هذه اللحظة ونتيجة لوجود المفاعلة الحثية لملف الكبح* (ballast) يظهر

* اللفظة الدارجة لهذا الملف هى «ترانس»٠

جهد عابر عال بين الكترودى المصباح يكفى لبدء التفريغ الغازى بينهما واشعال المصباح وفى هذه الحالة يصبح فرق الجهد بين الالكترودين صغيراً جدا وغير كاف لاعادة تشغيل البادىء • أما اذا فشلت المحاولة الاولى فى اشعال المصباح فتتكرر الخطوات الموضحة أعلاه حتى تتم عملية الاشعال • والغرض من المكثف (0.006 ميكروفراد) الموصل بين طرفى البادىء هو منع أو تقليل التداخل اللاسلكى •

ويجب أن نوضح هنا أن ملف الكبح له وظيفتان : الاولى هى اعطاء الدفعة القوية للجهد واللازمة لاشعال المصباح والثانية هى الحد من قيمة التيار واستقراره بعد الاشعال • والسبب فى ضرورة كبح التيار يرجع ، كما سبق أن ذكرنا ، الى خصائص التفريغ الغازى فان لم توجد مقاومة خارجية كافية فى الدائرة الكهربية يتطور هذا التفريغ الى تفريغ قوسى وهو بمثابة قصر بين الالكترودين •

نتيجة للمفاعلة الحثية للملف فان معامل القدرة لدائرة المصباح منخفض (حوالى 0.5 متأخر) ويتم تحسينه عن طريق توصيل مكثف مناسب بين طرفى المنبع • وتوجد بعض أنواع من الملفات تحوى مكثفا بداخلها • وعلى أى حال يجب استخدام مكثفات أو مكثف واحد كبير فى حالة استخدام عدد كبير من المصابيح حيث أن تحسين معامل القدرة يؤدى الى انخفاض قيمة التيار وبالتالى الى استخدام مقاطع أصغر للاسلاك •

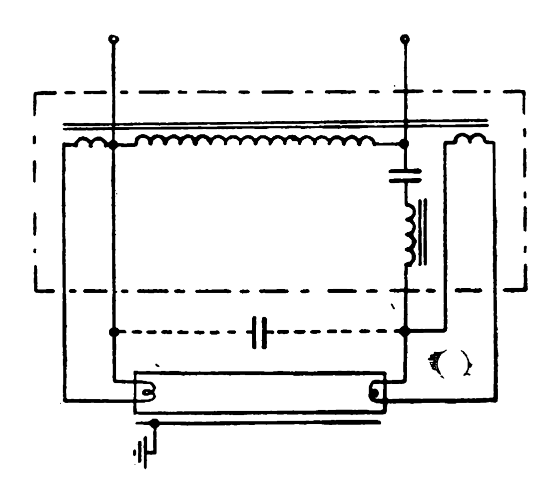


شكل 3 — 11 البادىء الخاص بالمصباح الفلورى

وجدير بالذكر أن ملف الكبح قد يكون مصدرا للضوضاء نتيجة للاهتزازات المغناطيسية التى تحدث فى القلب الحديدى • وفى الملفات الجيدة التصميم قد أمكن التخلص من هذه المشكلة •

ب ـ المصباح السريع البدء

فى هذا المصباح يظل تسخين الالكترودين من المنبع مستمرا طوال فترة اضاءته ويبين الشكل (3 — 12) الدائرة الكهربية لهذا النوع من المصابيح • ورغم أن هذا المصباح لا يحتاج الى بادىء الا أنه يحتاج الى ما يسمى مساعد البدء (starting aid) وهو عبارة عن شريط موصل عرضه حوالى 25مم وله نفس طول المصباح ويمتد بجواره ومتصل بالارض • ويعتمد بعد الشريط عن المصباح على التيار المقنن للمصباح • فاذا كان التيار 500 ملى أمبير أو أقل يوضع الشريط على بعد 18 مم أما اذا كان التيار أكبر من ذلك فيوضع الشريط على بعد 25 مم• ووجود الشريط ضرورى لرفع شدة المجال الكهربى بين أى من الالكترودين والارض بحيث يبدأ التفريغ التوهجى عند الالكترودات أولا•وبعد ذلك يكون فارق الجهد بين الالكترودين (وهو جهد المنبع) كافيا لامتداد هذا التفريغ بينهما وانارة المصباح • وحيث أن عملية البدء تعتمد أساسا على توزيع الجهد بين الالكترودين وبينهما والارض ، فان الرطوبة لها



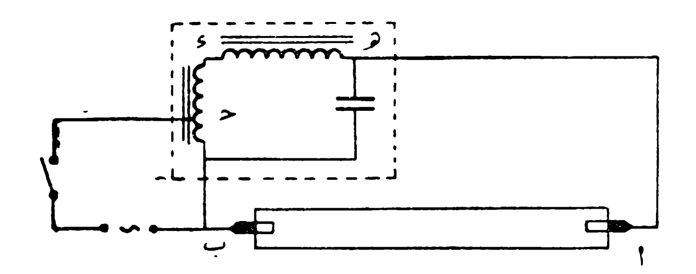
شكل 3 — 12 الدائرة الكهربائية لمصباح فلورى سريع البدء

أثر مناوىء على عملية بدء المصباح ولذلك يتم كسو السطح الخارجى لانبوبة هذا النوع من المصابيح بطبقة شفافة من مادة غير قابلة للبلل ٠

ويتم تسخين الالكترودات عن طريق محول مصمم خصيصا لهذا الغرض٠ وتستغرق عملية البدء ما بين ثانية واحدة وثانيتين ٠ وهذا المصباح ، مثله مثل جميع المصابيح التى تعمل بالتفريغ الغازى ، يحتاج الى كابح للتيار للاسباب التى سبق ذكرها أعلاه ٠

جـ ـ المصباح اللحظى البدء

يختلف هذا المصباح عن المصابيح السابقة فى أن الالكترودات لا تحتاج الى أى تسخين لاتمام عملية البدء أى أن التفريغ الغازى يبدأ والالكترودات باردة ٠ ولذلك فان كل الكترود مكون من أصبع واحد فقط اسطوانى الشكل ومكسو بمادة انبعاثية ٠ ويبين الشكل (3 — 13) الدائرة الكهربية الخاصة بهذا النوع من المصابيح ٠ وهذه الدائرة تقوم بوظيفتين : الاولى هى توليد جهد عال (400 الى 1000 فولت) عبر المصباح عند قفل الدائرة ، والثانية هى تخفيض الجهد الى جهد التشغيل العادى للمصباح بعد اشعاله ٠ عند قفل المفتاح لايوجد أى تيار بين أطراف المصباح أ ، ب ويظهر بينهما جهد أعلى بكثير من جهد المنبع وذلك عن طريق المحول الذاتى ب جـ د ٠ ويكفى هذا الجهد لبدء التفريغ الغازى داخل الانبوبة بين أ ، ب ٠ وعند حدوث التفريغ تقوم المفاعلة الحثية لملف الكبح د هـ بخفض الجهد عبر طرفى المصباح الى قيمته الطبيعية ٠

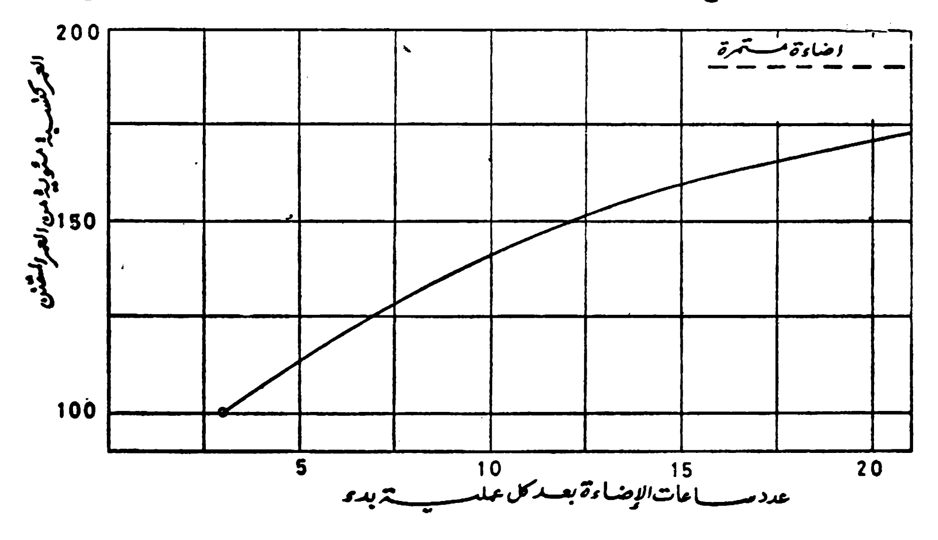


شكل 3 — 13 الدائرة الكهربائية لمصباح فلورى لحظى البدء

والانبوبة عليها طبقة خارجية شفافة من مادة غير قابلة للبلل وذلك لنفس السبب الذى ذكرناه بالنسبة للمصباح السريع البدء ٠

عمر المصباح الفــلورى

يعتمد عمر المصباح على معدل تبخر المادة الابتعاثية المكسو بها الالكترودات ويتبخر جزء من هذه المادة عند كل عملية بدء وأيضــا أثناء اضاءة المصباح· وينتهى عمر المصباح عند تبخر كل المادة الابتعاثية من أحد الالكترودين · وبما أن كمية التبخر أثناء عملية البدء أكبر بكثير من كمية التبخر أثنـاء الاضاءة ، فلذلك يزداد عمر المصباح كلما زادت عدد ساعات الاضاءة بين كل عملية بدء · ويتم تحديد عمر المصباح الفلورى (وهو يتراوح بين 7500 و 15000 ساعة) على أساس أن مدة الاضاءة المستمرة بين كل عملية بدء هى ثلاث ساعات·ويبين الشـــكل (3 — 14) العلاقة بين عدد الساعات التى يظل خلالها المصباح مضيئا بعد كل عملية بدء وعمر المصباح · وهناك عوامل أخرى تؤثر على عمر المصباح من أهمها خواص ملف الكبح والبادىء حيث أن هذه الخواص تحدد قيم كل من الجهد عبر المصباح والتيار عند البدء وعند التشغيل لتفى بمواصفات المصباح ·

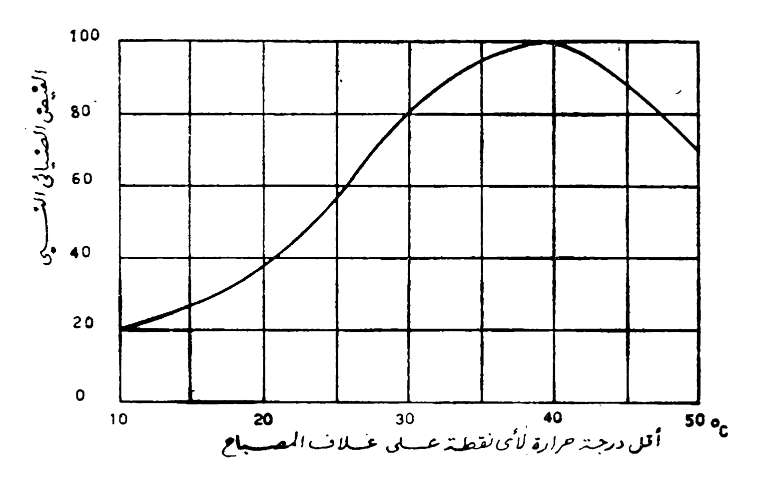


شكل 3 — 14 العلاقة بين عدد ساعـــات الاضاءة بعد كل عملية بدء وعمـــر المصباح الفلورى

وعند قرب نهاية عمر المصباح يظهر جـــزء أسود قاتم عند طرف أو طرفى المصباح نتيجة لتبخر المادة الابتعاثية · والظهور المبكر لهذا السواد يـدل على أن المصباح يعمل تحت ظروف تشغيل غير طبيعية : عيب أو خلل فى البادىء ، التلامس غير جيد بين المصباح والماسك ، ملف الكبح غير مناسب ، ارتفاع أو

انخفاض الجهد عن الحدود المقننة للمصباح • وعند انتهاء عمـر المصباح ذات التسخين المتقدم يحاول البادىء تكرار اشعاله ، وحيث أن تيار التسخين يزيد عن التيار عند التشغيل بحوالى 50% ، تؤدى هذه الزيادة فى التيار الى ارتفاع كبير فى درجة حرارة ملف الكبح واتلافه • ولذلك يجب الاسراع فى استبـدال المصباح • ولحماية ملف الكبح من التلف نتيجة ارتفـاع درجة حرارته تزود الملفات الحديثة بمفتاح حرارى وقائى يقوم بفصل الملف من الدائرة اذا ارتفعت درجة حرارة صندوق الملف الى 110^{o} م • وتنص المواصفات القياسية لبعض البلاد على ضرورة تزويد الملفات التى تستخدم داخل المبانى بمفتاح وقـائى وذلك كحماية ضد الحريق •

وجدير بالذكر أن الفيض الضيائى للمصباح الفلورى ينخفض كلمـا زادت عدد ساعات الاضاءة حيث يصل الى ما بين 67 و 80% من قيمته المقننة بعد انقضاء حوالى 70% من متوسط عمر المصباح •



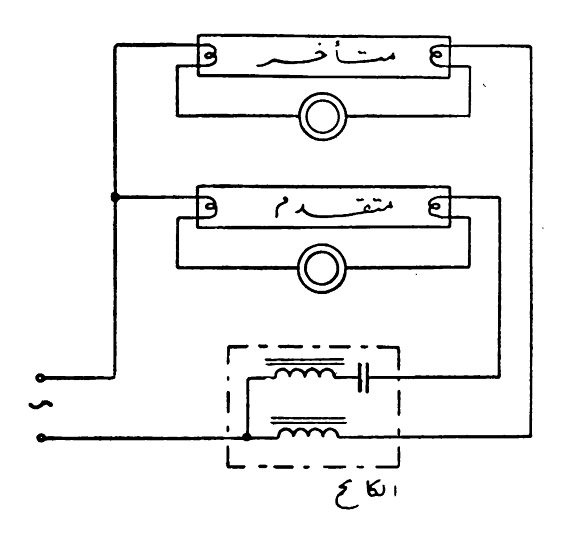
شكل 3 — 15 تأثير درجة حرارة غلاف المصباح على الفيض الضيائى

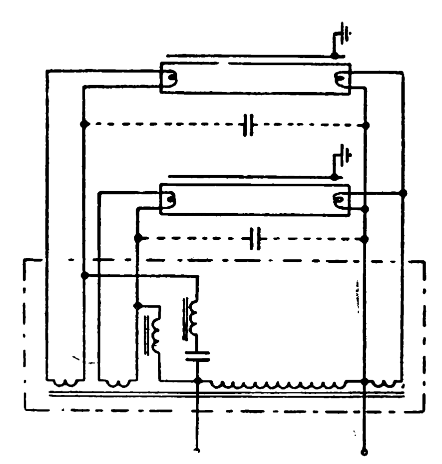
يعتمد تشغيل المصباح الفلورى أساسا على وجود بخار زئبق وعلى قيمـة ضغط هذا البخار التى تؤثر تأثيرا مباشرا على الخواص الضوئية للمصبـاح • وحيث أن الضغط يعتمد على درجة الحرارة فاننا نجد أن خصائص المصبـاح تتأثر بتغيير درجة الحرارة • ويحتوى أى مصباح فلورى دائما على كمية من الزئبق الغير متبخـــر يتكثف عند النقطة أو النقط الاكثر برودة فى المصبـاح

فيصبح ضغط بخار الزئبق معتمدا على درجة حرارة هذه النقط • وتعتمد هذه الحرارة على تصميم المصباح وقدرته ونوع ناشر الضوء المستخدم وعلى درجة حرارة المحيط • ويبين الشكل (3 — 15) العلاقة النموذجية بين أدنى درجة حرارة على غلاف المصباح والفيض الضيائى للمصباح •

ظاهرة الارتعــاش

حيث أن الطاقة الفوق بنفسجية المولدة من التفريغ الغازى تتناسب وقدرة





شكل 3 — 16 الدائرة الكهــربائية للاقــــلال من التأثير الستروبوسكوبى للمصابيح ذات التسخين المتقدم والمصابيح السريعة البدء

الدخل ، فهى تتغير دوريا بضعف ذبذبة المنبع الا أن الخاصية الفسفورية للمادة التى تكسو السطح الداخلى للمصباح تساعد على تقليل حجم هذا التغير• ولكن رغم ذلك فان الضوء اللحظى الناتج من المصباح يتغير دوريا ويسمى هذا التغير **الارتعاش** (flicker) • واذا كان تردد المنبع هو 50 هرتز فمعدل الارتعاش هـــــو 100 دورة فى الثانية وهذا المعدل سريع ولا تشعر به العين • ولكن اذا شوهدت أجساما متحركة تحت الاضاءة الفلورية يظهر للجسم عدة خيالات وهـــذا هـو مـا يسمى بالتأثير الســـتروبوسـكوبى (stroboscopic effect) وفى المشروعات الاضـــائية الجيـدة التصميم يمكن الاقـــلال من هذا التأثير باستخدام الدوائر المبينة فى الشكل (3 — 16) وذلك فى حالة تغذية المصابيح من مرحلة واحدة • وفى هذه الدوائر يغذى أحد المصباحين بتيار متقدم ويغذى الاخر بتيار متأخر بحيث يعوض الفرق المرحلى بينهما التغير الدورى فى الخرج الضوئى • أما فى الدوائر الثلاثية المراحل فيتم جمع كل ثلاثة مصـــابيح سويا ويغذى كل مصباح من مرحلة مختلفة •

لـــون المصبـــاح الفلورى

يعتمد لون ضـــــوء المصباح الفلورى وقدرته الضيـــائية على نوع المـــادة المتفسفرة (phosphor) المستخدمة فى كسو الانبوبة الزجاجية وعـلى نوع المواد **المنشطة** (activators) التى تضاف الى المادة المتفسفرة لرفع كفاءتها الفلورية • ويبين الجدول 1.3 بعض المواد المستخدمة وألوانها المميزة •

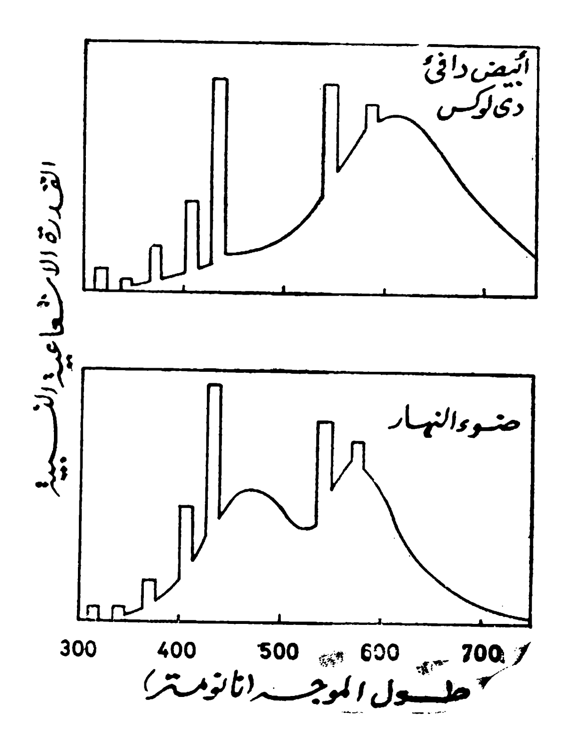
ويبين الشكل (3 — 17) توزيع القـــدرة الطيفية لنوعين من المصـــابيح الفلورية • وجدير بالذكر أن الابحـــاث الحديثة قد أثبتت أنه بحصر الاشعة المرئية داخل نطاقات ضيقة معينة يمكن الحصول على قدرة ضيائية عالية وأيضا أمانة نقل ألوان عالية •

ويبين الشكل (3 — 18) رسم موازنة الطاقة بالنسبة لمصباح فلورى قدرته 40 وات •

ان أكثر المصابيح الفلورية استخداما هى المصابيح ذات اللون المسمى عامة بال «أبيض» • وهناك عدة أنواع من هذا اللون الابيض كما هو مبين فى الجدول التـــالى :

جدول 1.3 بعض المواد المتفسفرة والمنشطة المستخدمة فى المصابيح الفلورية

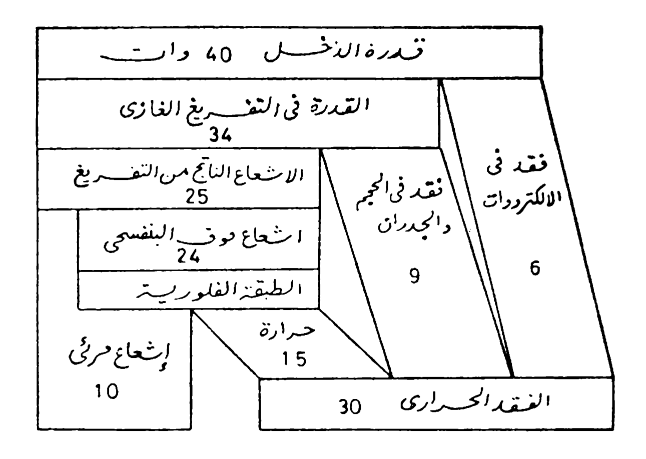
نوع المصباح	طول الموجة عند القيمة الذروية للطيف الفلورى	اللون المميز	المادة المنشطة	المادة المتفسفرة
أزرق	440 nm	أزرق	Lead	Calcium tungstate
ضوء النهار	480	أزرق ضارب الى البياض	—	Magnesium tungstate
ضوء النهار	480	أزرق ضارب الى البياض	Antimony	Calcium halophosphate
أخضر	520	أخضر	Manganese	Zinc sulphate
أبيض بارد ، أبيض ، أبيض دافىء ، ضوء النهار	590	أصفر ضارب الى البياض	Antimony + Manganese	Calcium holophosphate
أبيض بتمييز محسن للالوان	660	أحمر	Manganese	Magnesium fluorogermanate



شكل 3 — 17 توزيع للقدرة الطيفية لنوعين من المصابيح الفلورية

صفة البياض		القدرة الضيائية (لومن/وات)	دليل أمانة الالوان
أبيض بارد	Cool white	80	67
أبيض بارد دى لوكس	Deluxe cool white	55	85
أبيض دافىء	Warm white	80	55
أبيض دافىء دى لوكس	Deluxe warm white	55	77
أبيض	White	80	61
ضوء النهـــار	Daylight	67	75

واختيـــار اللون الابيض المناسب يتوقف على غرض الاضـــاءة والاهمية النسبية التى تعطى لكل من القدرة الضيائية وأمانة نقل الالوان ومظهر الضوء (هل هو أقرب الى ضوء النهار أو الى ضوء المصباح التوهجى) • فمثلا يستخدم المصباح ذات الضوء الابيض البارد (وهو أكثر الالوان استخداما) فى المصانع والمكاتب والمدارس حيث له قدرة ضيائية عالية وأمانة ألوان جيدة أما المصباح



شكل 3 — 18 موازنة الطاقة لمصباح فلورى قدرته 40 وات

الابيض بارد «دى لوكس» فضوئه أقرب الى ضوء النهار الطبيعى عن جميع الاضواء الفلورية الاخرى من حيث المظهر وأمانة نقل الالوان ولذلك فهو يستخدم فى جميع المصانع والمحلات (ملابس ، أقمشة ، زهور الخ) التى تحتاج الى أمانة عالية لنقل الالوان ٠

ويبين الجدول التالى خصائص المصابيح الفلورية وذلك للقدرات الاكثر استخداما :

القدرة الاسمية (وات)	القدرة الفعلية (وات)	الطول (سم)	القطر (مم)	الفيض الضيائى* (لومن)	القدرة الضيائية (لومن/وات)	النصوع (كندلا/سم٢)
20	25	60	38	1250	63	0.65
40	46	120	38	3200	80	0.75
65	75	150	38	5100	79	0.95

* بعد مائة ساعة ٠ الفيض الضيائى المبين هو للمصابيح ذات الضوء الابيض والابيض الدافىء والابيض البارد ٠ وللمصابيح الاخرى يجب ضرب هذه القيم فى المعاملات الاتية : 0.95 لضوء النهار ، 0.65 للابيض البارد أو الدافىء دى لوكس ٠

3.3.3 مصباح الصوديوم ذات الضغط المنخفض

يتميز هذا المصباح بأعلى قدرة تأثيرية ضيائية(133 — 183 لومن/وات) بين جميع المصابيح التى تستخدم لاغراض الاضاءة المستمرة ولكنه فى نفس الوقت أسوأهم من ناحية أمانة نقل الالوان (45 —) حيث لا يمكن بتاتا تمييز الالوان على ضوئه ولذلك فهو يستخدم أساسا للاضاءة الخارجية فى الامـاكن التى تحتاج الى قدرة ضيائية عالية وادراك تباينى عال (contrast recognition) بدون الحاجة الى أى أمانة فى نقل الالوان مثل الشوارع والموانى والمطـارات ومعابر الخطوط الحديدية والمحاجر الخ • وقد أوضحت التجارب أيضا أن البهر الناتج من هذا المصباح أقل ازعاجا من البهر الناتج من أنواع المصابيح الاخرى• ويصل عمر المصباح الى 15000 ساعة وتتراوح قدرته بين 35 و 180 وات•

يتولد الضوء فى هذا المصباح عن طريق التفريغ الغازى الذى يتم فى وسط له ضغط منخفض ومكون من بخار الصوديوم له ضغط 3×10^{-3} مم زئبـق (وهو الضغط الامثل لتحويل طاقة التفريغ القوسى الى ضوء) وغاز خامل (99% نيون + 1% أرجون) له ضغط يتراوح بين 1 و 10 مم زئبق • وحيث أن الاشعاع الناتج عن هذا التفريغ يقع فى الجزء المرئى من الطيف فليس هناك حاجة الى استخدام أى مادة متفسفرة كما هو الحال بالنسبة للمصباح الفلورى• وطول موجات الاشعاع منحصرة بين 589 و 589.6 نانومتر ولذلك فالاشعاع أصفر وتقريبا وحيد اللون (monochromatic) ممـا يزيـد من ادراك التبـاين* ولكن فى نفس الوقت يتسبب فى رداءة أمانة نقل الالوان• وللتوصل الى الضغط الامثل لبخار الصوديوم يجب أن تكون درجة حرارة جدار أنبوبة التفريغ حوالى 270° م ويجب أن يتحمل الزجاج المصنعة منه الانبوبة مهـاجمة الصـوديوم الشديد التفاعل عند هذه الحرارة المرتفعة • ومع التقدم فى صناعة أنواع الزجاج المقاوم للصوديوم أصبح من الممكن حاليا تشغيل المصباح عند أمثل الظروف • وتكون أنبوبة التفريغ فى غالبية المصـابيح على شكل حـرف U (لخفض طول المصباح وتسهيل تركيبه) ومزودة عند كل طرف بفتيلة مكسية بمادة ابتعاثية•

---

* الضوء الوحيد اللون يقلل من تأثير الزيغ اللونى (chromatic aberration) لعين الانسان على الادراك •

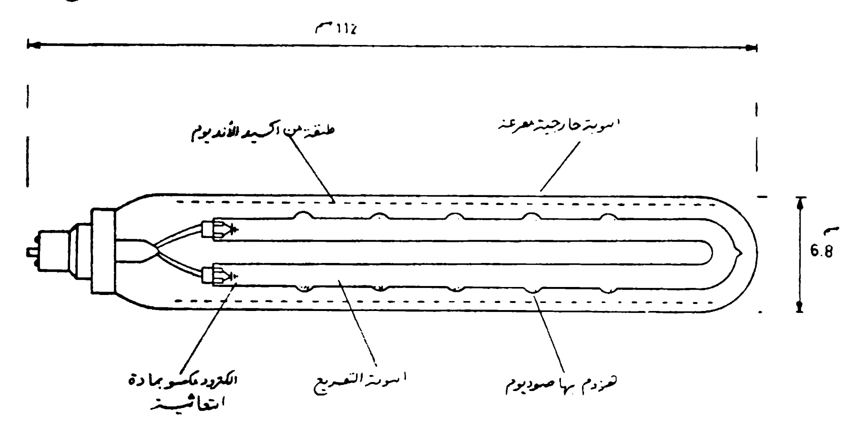
وعند تسخين الفتيلتين يبدأ التفريغ فى الغــاز الخامل أولا ويبدو بلون أحمر• ونتيجة للحرارة المولدة من هذا التفريغ المبدئى يبدأ الصوديوم فى التسيــل ثم يتبخر جزء منه ويدخل فى عملية التفريغ فيتحول الضوء تدريجيا الى اللــــون الاصفر المميز لبخــــار الصوديوم • وتتراوح الفترة الزمنية بين بدء المصباح واعطائه الاضاءة الكاملة بين 7 و 15 دقيقة •

وللمحافظة على درجة حرارة جدار أنبوبة التفريغ عند 270° م تقـــريبا يجب منع أو خفض الفقد الحرارى الناتج عن تيارات الحمل والتوصيل والاشعاع وذلك عن طريق العزل الحرارى للانبوبة • ويتم ذلك باحاطة أنبوبة التفريغ بأنبوبة أخرى مفرغة كما هو مبين فى شكل (3 — 19) • وللخفض من الفقـد الحـرارى الاشعاعى فقد أثبتت التجارب أن ترسيب طبقة رقيقة جدا (0.31 ميكرومتر) من أكسيد الانديوم (الذى مؤخرا حل محل أكسيد الصفيح) على السطح الداخلى للانبوبة المفرغة يؤدى الى تحسن كبير فى كفاءة المصبـــاح حيث تكون هـذه الطبقة سطحا عاكسا للاشعاع الحرارى (دون الاحمر) مما يساعد على حفظ درجة حرارة سطح أنبوبة التفريغ عند 270° م• ويبين الجدول التالى تأثير العزل الحرارى على القدرة التأثيرية الضيائية لانبوبة تفريغ تجريبية •

نوع العزل لانبوبة التفريغ	القدرة الواتية المناظرة لاعلى قدرة تأثيرية ضيائية (وات)	القدرة التأثيرية الضيائية (لومن/وات)
انبوبة غير معزولة	1150	65
انبوبة محاطة بأنبوبة مفرغة	490	110
الانبوبة الخارجية مكسية بأكسيد الصفيح	200	160
الانبوبة الخارجية مكسية بأكسيد الانديوم	160	180
انبوبتان خارجيتان مكسيتان بأكسيد الانديوم	110	200
الانبوبةالخارجية مكسية بأكسية الانديوم ولكن المصباح مغذى بتيار موجته مستطيلة الشكل بدلا من جيبية الشكل	110	220

ونتيجة للتوزيع الغير منتظم للحرارة على طول جدار أنبوبة التفـريغ ، يتكثف بخار الصوديوم فى الاماكن الباردة مكونا عندها سطحا مرآويا يقلل من

القدرة الضيائية للمصباح • وللتغلب على هذه الظاهرة زودت الانبوبة بعدة هزوم (شكل 3 — 19) يوضع فيها الصوديوم • وحيث أن هذه الهزوم تمثل أبرد أماكن فى الانبوبة فان الصوديوم يتكثف عندها وقد أدت أيضا هذه الهزوم الى توزيع أجود للصوديوم داخل الانبوبة ورفع القدرة الضيائية للمصباح •



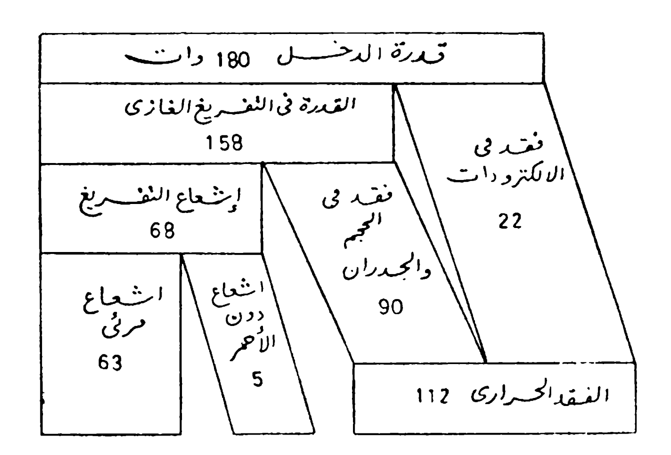
شكل 3 — 19 مصباح الصوديوم ذات الضغط المنخفض

ويبين الشكل (3 — 20) رسم موازنة الطاقة بالنسبة لمصباح قدرته 180 وات • ويعطى الجدول التالى بعض البيانات الخاصة بمصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض للقدرات المصنعة حاليا :

قدرة المصباح وات	جهد البدء فولت	جهد المصباح فولت	القدرة الضيائية لومن/وات	طول المصباح مم
35	390	70	133	310
55	410	105	140	425
90	420	115	141	528
135	575	160	159	775
180	575	245	183	1120

الدائرة الكهربائية التى كانت تستخدم حتى عام ١٩٧٠ لبدء وتشغيل المصباح كانت تحتوى على محول ذاتى له مفاعلة تسرب عالية يرفع الجهد بين طرفى المصباح عند البدء ثم يخفضه ويحد من قيمة التيار المار فى المصباح نتيجة للمفاعلة الحثية العالية • وقد أثبتت التجارب العملية أنه اذا استبدل التيار الجيبى بتاير له موجة مستطيلة الشكل ، فان ذلك يرفع القدرة التأثيرية

الضيائية للمصباح ويقلل قيمة الجهد اللازمة لبدئه • وقد أدى ذلك الى تصميم جهازا جديدا يعرف بالكابح الهجينى (hybrid ballast) يحتوى على بادىء الكترونى مستقل وكابح للتيار مكون من ملف L_1 له محاثة خطية وملف L_2 له محاثة غير خطية (محاثة تشبع) ومكثف C (شكل 3 — 21) بحيث تعطى هذه الدائرة تيـــارا يحتوى على أكبر نسبة ممكنة من التوافقية الثالثة وذلك لتقريب الموجة من الشكل المستطيل (شكل 4 — 22)• ويحتوىالبادىءعلى دائرة الكترونية تولد نبضات جهد 950 فولت بتردد 50 كيلو هرتز أثنـــاء فترة البدء ثم تنفصل تلقائيا بعد البدء لمنع التداخل اللاسلكى • ويبين الجـــدول التالى مقارنة بين خواص الكابح الهجينى الحديد والمحول الذاتى وذلك لمصباح قـــدرته 90 وات •

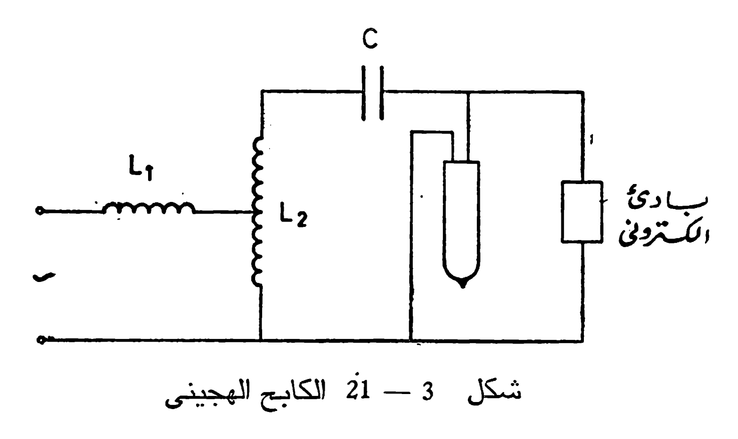


شكل 3 — 20 موازنة الطاقة لمصباح صوديوم ذات الضغط المنخفض قدرته 180 وات

الخـــاصية	محول ذاتى	كابح هجينى
الوزن (كج)	7.7	3.3
الفقـــد (وات)	35	21
التوافقية الثالثة فى تيار المنبع (%)	40	7.5
كفاءة النظام (لومن/وات)	107	118
تيار اللاحمل/تيار المصباح	3	0.9
اعـــادة البـــدء	غير لحظى	لحظى

4.3.3. مصباح الصوديوم ذات الضغط العالى

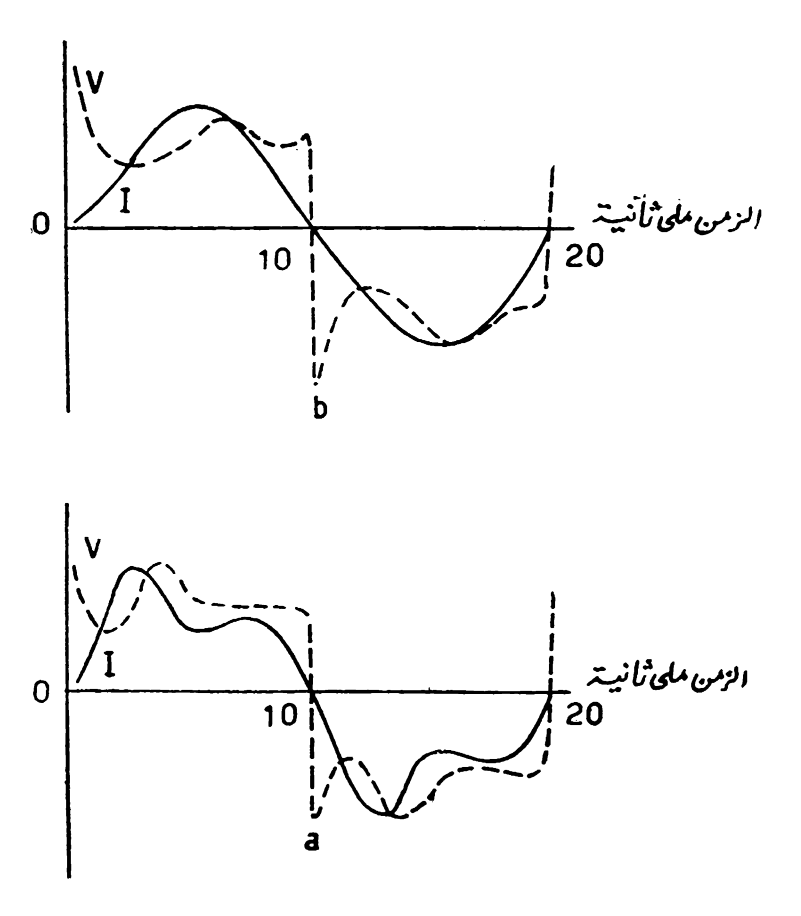
يعتمد نوع الضوء الناتج عن التفريغ فى بخار الصوديوم على ضغط البخار• ففى حالة الضغط المنخفض يكون الضوء أحادى اللون كما ذكرنا أعلاه • أما اذا كان الضغط عاليا ـ حوالى 60 مم زئبق ـ فان طول موجات الاشعاع الناتج يقع على مدى واسع من الطيف المرئى مما يجعل لون الضوء أبيض ـ ذهبى به كمية كبيرة من اللون الاحمر والاصفر وكمية صغيرة من الازرق والبنفسجى • ولم يكن من الممكن استخدام هذه الخاصية فى صناعة مصباح صوديوم ذات ضغط عالى الا بعد اكتشاف مادة لتصنيع منها أنبوبة التفريغ تكون ناقلة للضوء ويمكنها احتواء بخار الصوديوم الحات للغاية عند درجة حرارة 1300° م وامكان عمل نهايات محكمة بين الالكترودات وأطراف الانبوبة بحيث تتحمل تحات بخار الصوديوم وأيضا الاجهادات الحرارية الناتجة عن اضاءة واطفاء المصباح •



شكل 3 — 21 الكابح الهجينى

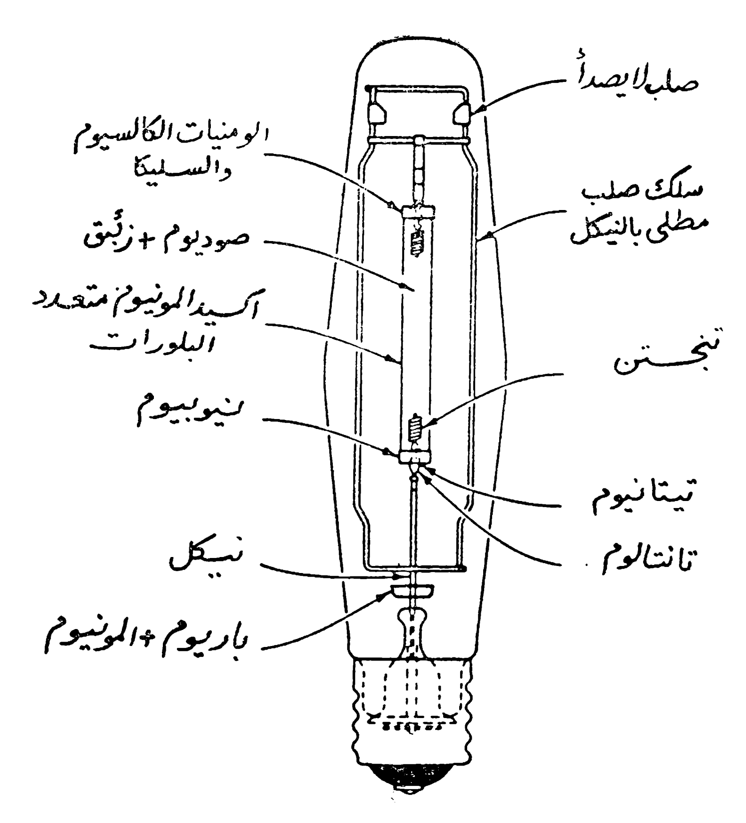
وقد أدت العديد من الابحاث الى اكتشاف مادة أكسيد الالومنيوم (الالومنيا) المتعدد البلورات والمتلابد (sintered polycrystalline alumina) التى لها الخصائص المطلوبة لانبوبة التفريغ ، وأيضا الى ايجاد أمثل وسيلة لاحكام الموصلات عند أطراف الانبوبة وذلك بواسطة أنواع خاصة من المعادن أو الزجاج • ويتكون كل الكترود من ملف من التنجستن مكسو بطبقة من مادة ابتعاثية ومثبت على قضيب من نفس المعدن• ولتوصيل التيار الى الالكترودات يستخدم قضيب أجوف (لتفريغ الانبوبة ثم شحنها بالصوديوم والغاز الخامل) من معدن النيوبيوم الذى له تمدد حرارى موائم للتمدد الحرارى لمادة

الانبوبة • وتوضع الانبوبة داخل غلاف زجاجى مفرغ (شكل 3 — 23) لعزلها حراريا ولحمايتها من العوامل الخارجية • وقد يكون هذا الغلافمن زجاج صاف انبوبى الشكل أو من زجاج عليه كسوة داخلية من مسحوق ناشر للضوء وبيضى الشـــكل •



شكل 3 — 22 شكل موجة التيار فى حـــالة استخدام كابح عادى (الشكل العلوى) وفى حالة استخدام الكابح الهجينى (الشكل السفلى)

وبالاضافة الى الصوديوم تحتوى الانبوبة على كمية من الزئبق ومن غاز الزينون • فلقد أثبتت الدراسات أن وجـــود الزئبق يرفع القـــدرة التأثيرية الضيائية للتفريغ لسببين • الاول هو خفض الفقد الناتج عن التوصيل الحرارى نالموصلية الحرارية لخليط من غازين تقع بين قيم الموصلية لكل غاز على حـدة

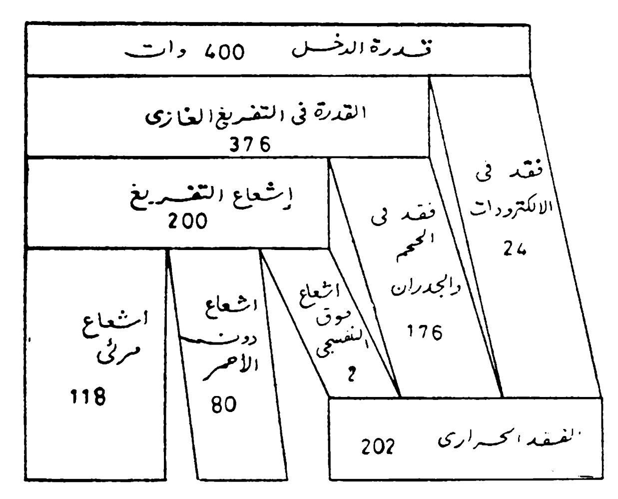


شكل 3 — 23 مصباح صوديوم ذات الضغط العالى

وتتغير تغيرا خطيا تقريبا ونسبة عدد ذرات كل غاز فى الخليط • وحيث أن الموصلية الحرارية للصوديوم أكبر من موصلية الزئبق فللحصول على أقل فقد نتيجة للتوصيل الحرارى يجب أن يكون ضغط بخار الزئبق عاليا بالنسبة لضغط بخار الصوديوم (عمليا حوالى ثمانية أضعاف) • أما السبب الثانى فهو خفض الفقد الناتج عن التوصيل الكهربى حيث أن وجود الزئبق يخفض الموصلية الكهربية للقوس الكهربى • وللتفسير العلمى لذلك يجب الرجوع الى نظريات البلازما والقوس الكهربى •

أما وجود غاز الزينون فهو يسهل عملية بدء المصباح كما أوضحنا فى الفقرة 1.3.3. وجدير بالذكر أن جهد استثارة ذرات الزئبق أو ذرات الزينون أكبر من جهد استثارة ذرات الصوديوم ولذلك فان وجودهما ليس له تأثير يذكر على الطيف الضوئى للمصباح •

ومصباح الصوديوم ذات الضغط العالى له قدرة ضيائية عالية (120 لومن/وات) ومعامل متوسط لامانة نقل الالوان (23) • لذلك فان استخدامه يكون مناسبا جدا عندما تكون الاعتبارات الاقتصادية أهم بكثير من متطلبات الامانة فى نقل الالوان • وهو يستخدم بكثرة فى مجال الاضاءة الخـــارجية ولاسيما اضاءة الشوارع • وعمر المصابيح الحديثة يصل الى 24000 ساعة • ويبين الشكل(3 - 24) موازنة الطاقة لمصباح صوديوم ذات ضغط عالى قدرته 400 وات •



شكل 3 — 24 موازنة الطاقة لمصباح صوديوم ذات الضغط العـــالى قدرته 400 وات

بالاضافة الى كابح التيار ، يحتاج المصباح لبادىء الكترونى خاص لتوليد نبضات جهد ذات تردد عالى ومركبة على جهد المنبع • وبعد البـــدء يحتاج المصباح لحوالى ست دقائق ليصل تدفقه الضيائى الى 80% من قيمته المقننة • ونظرا لوجود ضغط بخار مرتفع أثناء التشغيل المستقر للمصباح ، فهو يحتاج بعد اطفائه ، لحوالى ثلاثة دقائق لاعادة اشعاله وذلك حتى يتسنى للضغط داخل أنبوبة التفريغ أن يهبط الى القيمة التى تسمح لجهد البدء باعادة الاشعال • الا أنه يوجد الان بعض البادئات الخاصة تستطيع اعادة اشعال المصباح فوريا • ويجب الرجوع الى توصيات المصنع لاختيار جهاز البدء المناسب لنوع المصباح وقدرته • ونظرا لصغر قطر أنبوبة التفريغفان المصباح ذو الغلافالخارجىالصاف (أنبوبى الشكل) يستخدم بكثرة فى الاضاءة الغامرة حيث يمكن تصميم ناشر

ضوء خاص لهذا النوع من الاضاءة له كفاءة عالية وقليل البهر • ويستخدم في الاضاءة الخارجية للمباني العامة والتذكارية والمطارات وأرصفة الشحن والتفريغ والملاعب ومواقف السيارات • ورغم أن أمانة نقل الالوان لضوء هذا المصباح ليست عالية الا انها تفي بالغرض لاضاءة مثل هذه الاماكن •

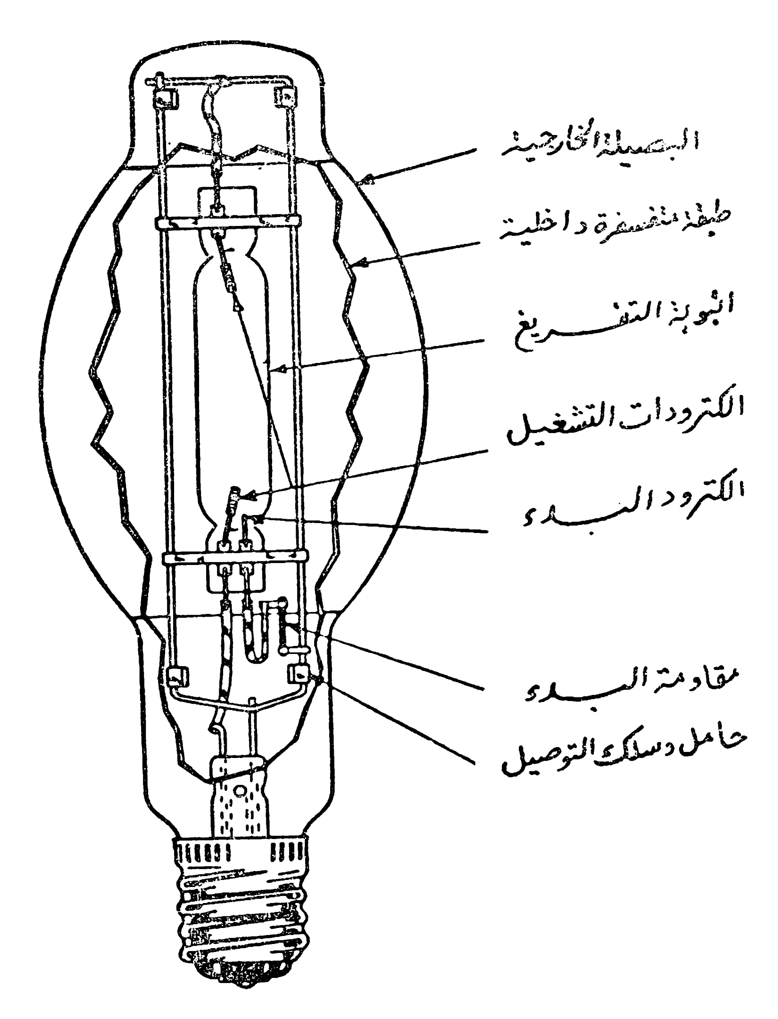
أما المصباح ذو الغلاف الخارجي البيضي فهو يستخدم في اضاءة الشوارع• وحيث أن حجم المصباح وشكله يماثل حجم وشكل مصباح الزئبق ذو الضغط العالي ، يمكن مبادلة المصباحين بدون تغيير ناشر الضوء • واستبدال مصباح الزئبق بمصباح الصوديوم يؤدي الى ارتفاع كبير في مستوى الاضاءة لنفس القدرة أو الى انخفاض في القدرة (حوالي 50%) اللازمة للحصول على نفس مستوى الاضاءة • وحيث أن احتياجات البدء لمصباح الصوديوم تختلف عن احتياجات مصباح الزئبق ، فتوجد مصابيح صوديوم مصممة خصيصا بحيث يمكنها أن تعمل من نفس دائرة البدء الخاصة بمصباح الزئبق • وهذه المصابيح يقل استهلاكها للطاقة من 10 — 15% وتزيد قدرتها الضيائية بحوالي 40% عن مصابيح الزئبق •

وجدير بالذكر أنه حتى قريبا لم تكن تصنع مصابيح صوديوم ذات ضغط عالي لها قدرة تقل عن 250 وات ، ولكن مؤخرا تم انتاج مصابيح ذو قدرة 150 و 100 و 70 و 35 وات مما أدى الى استخدامها في اضاءة المناطق السكنية والشوارع الجانبية • وتتجه الابحاث الحالية نحو تحسين أمانة نقل الالوان بحيث يمكن استخدام هذه المصابيح للاضاءة الداخلية •

5.3.3 مصباح الزئبق ذات الضغط العالي

يبين الشكل (3 — 25) مقطعا لمصباح الزئبق ذات الضغت العالي يوضح مكوناته الاساسية • وأهم جزء في المصباح هو أنبوبة التفريغ المصنوعة من زجاج الكوارتز • وتحتوي هذه الانبوبة على كمية من الزئبق وعلى كمية صغيرة من غاز الارجون عند ضغط 30 — 50 مم زئبق عند درجة حرارة الحجرة• ووجود هذا الغاز الخامل ضروري لتسهيل عملية بدء التفريغ حيث أن ضغط بخار الزئبق عند درجة حرارة الحجرة منخفض جدا• والانبوبة مزودة باكترودين أساسيين والكترود بدء بجوار أحدهما (شكل 3 — 26) والكترود البدء موصل بالالكترود الاساسي عند الطرف المقابل للانبوبة عن طريق مقاومة بدء • ويتكون

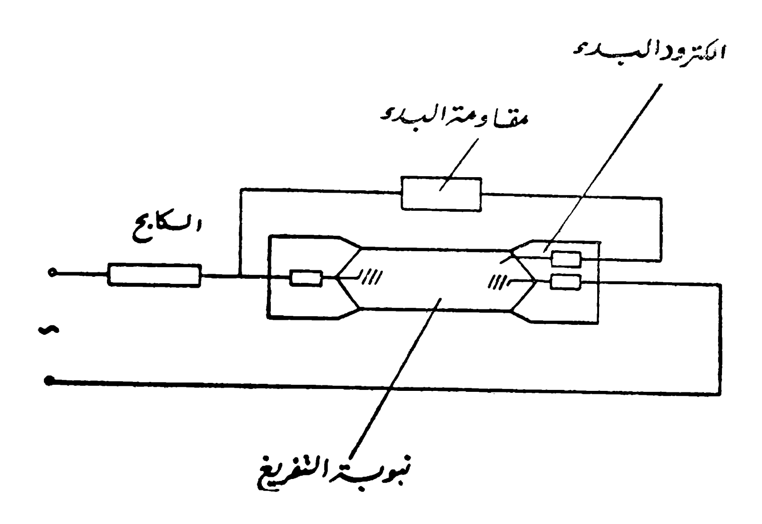
كل الكترود أساسى من مادة ابتعاثية مطمورة داخل ملف من التنجستن ومحمية بملف تنجستن آخر خارجي ٠



شكل 3 — 25 مصباح زئبق ذات ضغط عالي

ولا يكفى جهد المنبع العـــادى لاحداث انهيار كهـــربى بين الالكترودين الاساسيين نظرا للمسافة الكبيرة التى تفصلهما ٠ ولكن هذا الجهد يظهر أيضا بين الالكترود الاساسى والكترود البدء المجاور له ويكفى لاحداث انهيار كهربى فى الثغرة التى بينهما ٠ ويأخذ هذا الانهيار شكل تفريغا توهجيا نظرا لوجود مقاومة خاصة (10 — 30 كيلوأوم) للحد من حجم تيار التفريغ ٠ ويؤدى

هذا التفريغ التوهجى الى تأيين غاز الارجون ومن ثم الى انتشار التفـريغ فى الانبوبة حتى يصل الى الالكترود الاســاسى المقابل ، وعندئذ يتحول هــذا التفريغ الى تفريغ قوسى ويقوم ملف الكبح بالحد من حجم التيار • ونتيجـة للحرارة المولدة من هذا التفريغ يبدأ الزئبق فى التبخــر وينتقل التوصيل فى القوس الكهربى تدريجيا من غاز الارجون الى غاز الزئبق وعند حــدوث ذلك ينطفى التفريغ عند الكترود البدء تلقائيا نتيجة لوجود مقاومة خارجية عــالية جدا للتيار فى هذا المسار بالنسبة للمقاومة التى يلقاها التيار فى المســار بين الالكترودين الرئيسيين • وأثناء العملية الانتقالية يتغير ضــوء المصباح من اللون المائل الى الزرقة الذى يتميز به القوس فى غاز الارجون الى اللون الازرق المخضر الخاص بالقوس لآ بخار الزئبق • ويزداد الضــوء نصــوعا حتى يصل الى ذروته وينحصر التفريغ القوسى فى منتصف ألانبوبة • ويتــراوح الزمن المنصرف من لحظة بدء المصباح(أو اعادة بدئه)حتى احرازه اضاءته الذروى بين ثلاث وسبع دقائق • ويتحدد الضغط النهائى الذى يعمل عنده المصبــاح بكمية الزئبق التى توضع فى أنبوبة التفريغ ويتراوح هذا الضغط بين ثمــانية عشر أضعاف الضغط الجــوى لاصغــر المصابيح (50 وات) أو ضعفى الضغط الجوى لاكبرها (2000 وات) • وتصل درجة حرارة جدار انبوبة التفريغ الى 700°م •

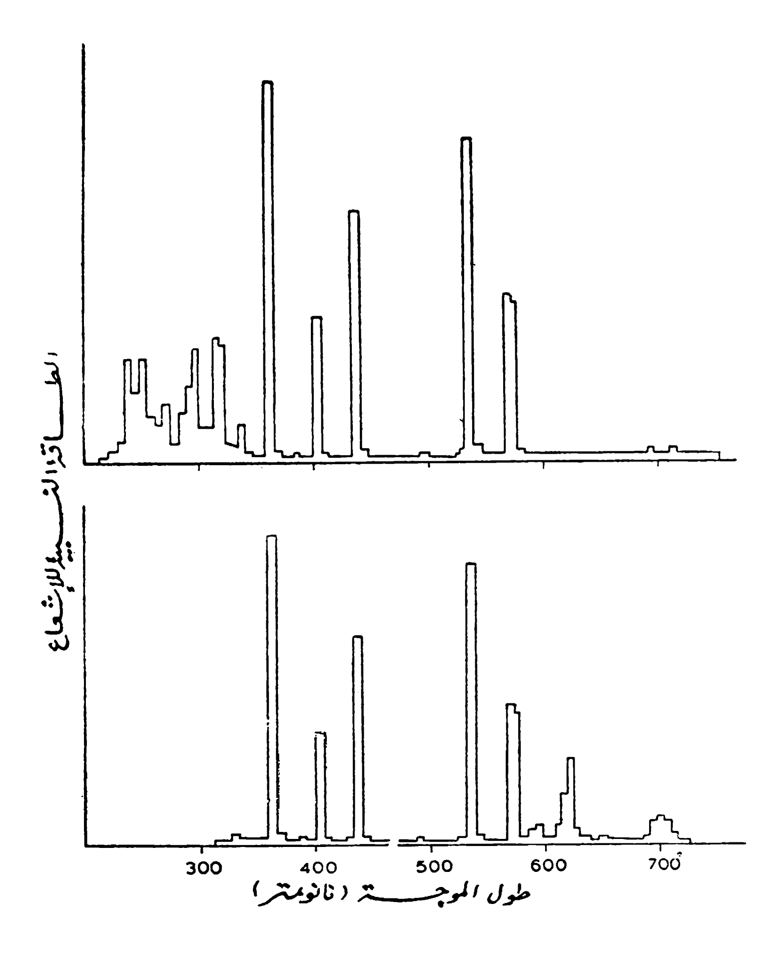


شكل 3 — 26 دائرة التغذية لمصباح زئبق ذات ضغط عالى

وفى الغالبية العظمى من هذه المصابيح تركب أنبوبة التفريغ داخل غلافا زجاجيا بيضى الشكل وذلك للاسباب الاتية (أ) وجود الغلاف يحمى أنبوبة التفريغ ويمنع أى تغيرات فى درجة حرارتها قد تنتج عن تغير فى درجة حرارة الجو (ب) يحتوى الغلاف على خليط من غاز الارجون والنتروجين عند ضغط يتراوح بين 100 و 250 مم زئبق وذلك لمنع الاجزاء المعدنية الموجودة خارج أنبوبة التفريغ من التأكسد ومنع قفز الوميض بين تلك هذه الاجزاء التى لها جهود مختلفة (ج) يمكن كسو السطح الداخلى للغلاف بمادة متفسفرة أو جزءا من هذا السطح بطبقة عاكسة للضوء (د) فى بعض التطبيقات الخاصة يمكن تصنيع الغلاف من زجاج خاص يقوم بدور المرشح لازالة بعض الاطوال الموجية من طيف الاشعاع القوسى ٠

يبين الشكل (3 — 27) العلوى توزيع القدرة الطيفية لمصباح زئبق ذات ضغط عالى قدرته 250 وات ٠ وحيث أن الخطوط الطيفية الغالبة هى البنفسجى والاخضر والاصفر ، فالضوء الناتج من المصباح لونه أبيض مائل الى الازرق المخضر ويبدو غير مريح للعين وله أمانة نقل ألوان رديئة (15 — 20) ٠ والسبب فى ذلك هو عدم وجود أى اشعاع فى الجزء الاحمر من الطيف المرئى٠ وبما أن جزءا كبيرا من الطاقة الاشعاعية الصادرة من أنبوبة التفريغ يقع فى الجزء فوق البنفسجى من الطيف ، لذلك يتم كسو السطح الداخلى للغلاف الخارجى للمصباح بطبقة متفسفرة تقوم بتحويل جزءا من هذه الطاقة الى ضوء مرئى وهى نفس الطريقة التى تستخدم فى المصباح الفلورى (أنظر فقرة 2.3.3) وباستخدام المادة المتفسفرة المناسبة يمكن اضافة كمية من اللون الاحمر الى الاشعاع الضوئى مما يرفع دليل أمانة نقل الالوان الى حوالى 40 والقدرة الضيائية الى حوالى 55 لومن/وات بدلا من حوالى 46 لومن/وات للغلاف الصافى ٠ وتعرف المصابيح المكسية بمادة متفسفرة بالمصابيح ذات اللون المحسن (colour-improved lamps). ويبين الشكل (3 — 27) السفلى توزيع القدرة الطيفية لمصباح زئبق ذات ضغط عالى له غلاف مفسفر وقدرته 250 وات ٠

أما المواد المتفسفرة التى يمكن استخدامها فى هذه المصابيح فهى محدودة جدا اذا قورنت بالمواد التى يمكن استخدامها فى المصابيح الفلورية اذ يجب أن



شكل 3 — 27 توزيع القدرة الطيفية لمصباح زئبق ذات ضغط عالى قـــدرته 250 وات عندما تكون البصيلة شفافة (الشكل العلوى) وعندما تكون البصيلة مكسية بمادة متفسفرة (الشكل السفلى)

تكون المادة المتفسفرة مستقرة عند تعرضها لاشعة الما بعد البنفسجية الشـديدة ولدرجة حرارة الغلاف المرتفعة وأن تكون كفاءتها الاستثارية عالية عند درجة الحرارة هذه • وبالاضافة الى ذلك يجب على المادة أن تشع أساسا الون الاحمر الغير متواجد فى الطيف الاشعاعى للزئبق • وهذه الخواص غير متوفرة فى عدد كبير من المواد المتفسفرة المستخدمة فى المصابيح الفلورية • ويبين الجـــدول التالى تأثير المادة المتفسفرة على خواص مصباح زئبق ذات ضغط عالى قـدرته 250 وات :

المادة المتفسفرة	الفيض الضيائى (لومن)	دليل أمانة نقل الالوان
— —	11750	15
Magnesium germanate	11100	30
Alkaline earth orthophosphate	12400	25
Europium - activated yttrium phosphate vanadate	13500	40

وتصنع مصابيح الزئبق ذات اللون المحسن بمقدرات تتراوح بين 50 و 1000 وات/ 220فولت وبقـــدرة 2000 وات/ 380 فولت• ويبين الشكل (3 — 28) موازنة الطاقة لمصباح زئبق ذات اللون المحسن قدرته 250 وات •

ويوجد أيضا نوع من مصابيح الزئبق ذات الضغط العالى بغلاف متفسفر تعـــرف بمصـــابيح «دى لـــوكس» (deluxe h.p.m.v. lamps) **ضوئها** أبيض دافىء ولها دليل أمانة نقل الالوان يصل الى 50 • والاختلاف الوحيد بين هذه المصابيح والمصابيح المتفسفرة العادية هـــو فى كثافة الطبقة المتفسفرة حيث تكون بين ثلاثة وأربعة أضعاف الكثافة العـــادية • وتصنع هذه المصـــابيح بمقدرات واتية تتراوح بين 80 و 400 وات/ 220 فولت •

ويستخدم المصباح ذات الغلاف المتفسفر العادى للاضاءة الخارجية وخاصة لانارة الشوارع أما المصباح الدى لوكس فنظرا لضوئه المريح وأمانته الجيدة فى نقل الالوان فيستخدم لاضاءة المراكز التجارية والمناطق السكنية وكذلك للاضاءة الداخلية فى الورش والمصانع • ويتراوح عمر مصباح الزئبق ذات الضغط العالى بين 16000 و 24000 ســاعة على حسب قدرته الواتية والضيائية ولا يتأثر بعدد عمليات البدء اذا كان عدد ساعات الاضـــاءة بين كل عملية فى حـــدود الساعتين •

6.3.3 المصباح ذات الضوء المولف (Blended light lamps)

يحتوى الغلاف المتفسفر لهذا المصباح على فتيلة من التنجستن موصلة على التوالى بأنبوبة التفريغ الزئبقى • وتوهج الفتيلة عند اضاءة المصباح يؤدى الى

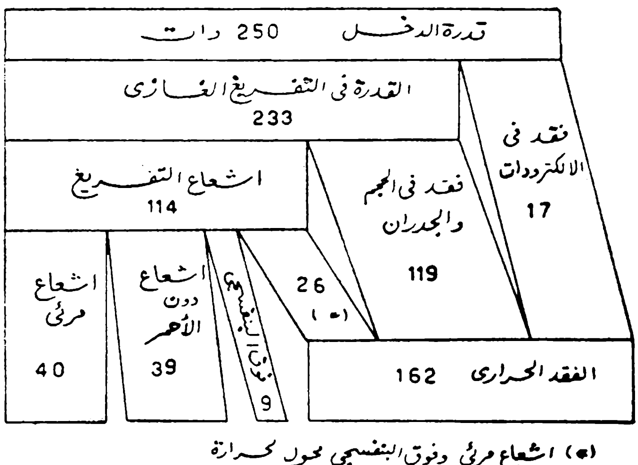
ارتفاع كبير فى مقاومتها وبالتالى الى الحد من قيمة التيار المار فى الانبوبة التفريغ ولذلك فالمصباح ليس فى حاجة الى كابح تيار خارجى خاص به، ويمكن توصيله بالمنبع مباشرة ٠

وتوزع القدرة الكلية للمصباح بين أنبوبة التفريغ والفتيلة بنسبة واحد الى اثنين ٠ وحيث أن القدرة الضيائية الناتجة عن التفريغ هى حوالى 40 لومن/وات والناتجة عن الفتيلة هى 10 لومن/وات نجد أن ثلثى الفيض الضيائى ينبع من التفريغ والثلث فقط ينبع من الفتيلة٠وتصمم الفتيلة بحيث تعمل عند درجة حرارة منخفضة لكى يحتوى ضوئها على نسبة كبيرة من الضوء الاحمر مما يجعل الضوء الكلى الناتج من هذا المصباح مريحا للعين من حيث المظهر وله أمانة نقل ألوان جيدة (70).

وأهم استخدام لهذا المصباح هو كبديل للمصباح المتوهج وذلك للاسباب الاتية : (أ) رغم انخفاض القدرة التأثيرية الضيائية (وهى حوالى 25 لومن/وات) اذا ما قورن بمصباح الزئبق العادى ، الا أن هذه القدرة مازالت ضعف قدرة المصباح المتوهج (ب) نتيجة لانخفاض درجة الحرارة التى تعمل عندها الفتيلة يصل عمر المصباح الى ستة أضعاف عمر المصباح المتوهج أى 6000 ساعة (ج) يمكن استبدال المصباح المتوهج بمصباح ذات الضوء المولف بدون الحاجة الى اجراء أى تعديلات فى التوصيلات الكهربائية أو تغيير قاعدة المصباح أو ناشر الضوء الخاص به ٠ وتتراوح مقدرات هذه المصابيح بين 160 و 1000 وات / 220 فولت ٠

7.3.3 مصباح الهاليد المعدنى

الهاليد المعدنى هو مركب ثنائى العنصر لاحد الهالوجينات وعنصر معدنى٠ والهالوجين المستخدم بدون استثناء فى هذا النوع من المصابيح هو اليود أما العنصر المعدنى فقد يكون الصوديوم أو الثاليوم أو الانديوم أو السكانديوم أو الديسبروسيوم (الهاليد المناظر لهذه المعادن هو يوديد الصوديوم ، يوديد الثاليوم الخ ٠٠٠) ٠ وتستخدم هذه الهاليدات كوسيلة لادخال العنصر المعدنى فى التفريغ القوسى ذات الضغط العالى حيث لا يمكن رفع درجة حرارة أنبوبة التفريغ الى درجة تبخر هذه المعادن وانما يمكن رفعها الى درجة حرارة تبخر أملاح هاليد هذه المعادن ٠ وبادخال العناصر المعدنية المناسبة فى التفريغ



(*) اشعاع مرئى وفوق البنفسجى محول لحرارة

شكل 3 — 28 موازنة الطاقة لمصباح زئبق ذات اللون المحسن قدرته 250 وات

القوسى يمكن الحصول على منبع للضوء له أمانة نقل ألوان ممتازة (70 — 90) وقدرة تأثيرية ضيائية عالية (70 — 100 لومن/وات)· والمصابيح الحديثة لا تحتوى على يوديد معدنى واحد وانما على مخلوط متوالف من عدة يوديدات معدنية وذلك لتحسين اتزان الالوان فى الجزء المرئى من طيف الضوء · فمثلا يحتوى الطيف الناتج عن كل من الصوديوم (589 نانومتر) أو الثاليوم (535) أو الانديوم (435) على خط رئيسى واحد فى حين أن طيف السكانديوم أو الثوريوم أو الديسبروسيوم يحتوى على عدد كبير من الخطوط موزعة على مدى الطيف المرئى · وأكثر المخلوطات المتوالفة استخداما هى الاتية : (أ) يوديد كل من الصوديوم والثاليوم والانديوم (ب) يوديد كل من الديسبروسيوم والثاليوم (ج) يوديد كل من الصوديوم والسكانديوم · وجدير بالذكر أن المخلوط الاخير يمتاز عن الاخرين من حيث القدرة التأثيرية الضيائية وأمانة نقل الالوان ·

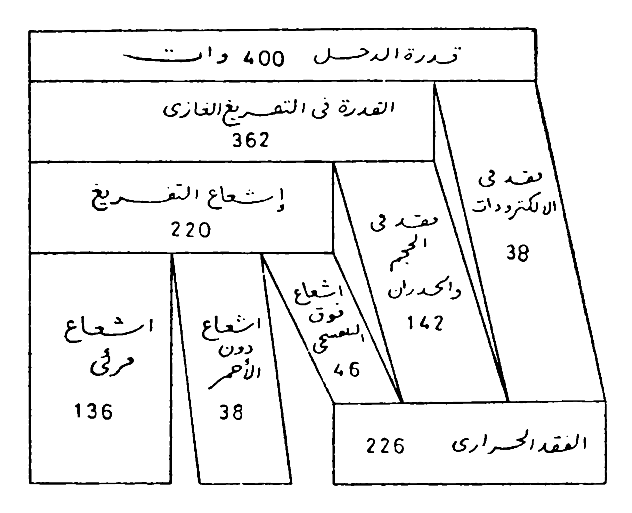
لا يختلف الشكل العام لهذا المصباح عن شكل مصباح الزئبق ذات الضغط العالى الذى سبق وصفه فى الفقرة السابقة فهو يتكون أساسا من أنبوبة تفريغ مصنوعة من زجاج الكوارتز ومحاطة بغلاف زجاجى اما بيضى الشكل وسطحه الداخلى مكسو بطبقة من مادة متفسفرة أو أنبوبى الشكل ومصنوع من الزجاج الصافى · وأنبوبة التفريغ مزودة بالكترود من التنجستن عند كل من طرفيها

والكترود بدء بجوار أحدهما (شكل 3 — 26) وتحتوى الانبوبة على غاز خامل يساعد على بدء المصباح ، وعلى كمية من الزئبق ومن الهاليد المعدنى ٠

وبعد انتقال التوصيل فى القوس الكهربى من الغاز الخامل الى بخار الزئبق (انظر فقرة .1.3.3) ترتفع درجة حرارة جدار الانبوبة ويبدأ الهاليد المعدنى فى التبخر وينتقل هذا البخار عن طريق الحمـــل والانتشار الى قلب القـوس الكهربى الشديد الحرارة فيتفكك الى هالوجين ومعـــدن ٠ ونتيجة للتصادمات التى تحدث بين ذرات المعدن والالكترونات الحـرة تستثار ذرات المعـــدن الى الحالات الالكترونية التى ينبعث منها الاشعاع الطيفى المميز لهذه الحــالات ٠ وتعود ذرات المعدن والهالوجين نحو المناطق الاكثر برودة حيث تتحد ثم تبــدأ هذه الدورة من جديد ٠

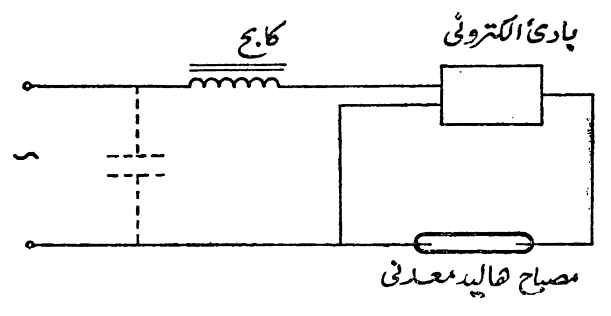
ورغم تشابه مصباح الهاليد المعدنى ومصباح الزئبق من حيث المظهر ، الا أن هناك عدة تعديلات قد أدخلت فى تصميم مصباح الهاليد : (أ) أنبوبة التفريغ أصغر حجما من أنبوبة مصباح زئبق له نفس الواتية وأطرافها مطلية بطبقــة عاكسة ٠ وهذان التعديلان ضروريان لرفع درجة الحرارة التى تصل اليها الانبوبة عند التشغيل وذلك للتأكد من وجود تبخر كاف للهاليد المعدنى (ب) يحتــوى المصباح على نظام (مفتاح ثنائى المعدن أو شبه موصل ثنائى) يقوم ــ بعـــد اضاءة المصباح ــ اما بتوصيل الكترود البدء بالالكترود المجـــاور له أو بفصل دائرة الكترود البدء ٠ فقد وجد أن ذلك ضرورى لمنع التحلل الالكتروليتى لزجاج الكوارتز المنحصر بين الالكترودين خاصة فى المصابيح التى تحتوى على هاليد الصوديوم ٠ (ج) فى بعض المصابيح يتم التوصيل الكهربى للالكترود القريب من قبة المصباح بواسطة سلك صغير مقوس فى اتجـــاه الانبوبة الخارجية لابعاده عن أنبوبة التفريغ ٠ فقد وجد أنه اذا كان هذا السلك قريبا من الانبوبة تتكون على سطحها شحنة من الالكترونات المنبعثــة من السلك تحت تأثير الضوء ٠ ويؤدى وجود هذه الشحنة الى الهجرة الالكتروليتية للصوديوم عــبر جدار أنبوبة التفريغ ٠

ويبين الشكل (3 — 29) رســـم موازنة الطـــاقة بالنسبة لمصباح يوديد السكانديوم والصوديوم قدرته 400 وات ٠



شكل 3 — 29 موازنة الطاقة لمصباح يوديد السكانديوم والصوديوم قدرته 400 وات·

ان طريقة بدء المصباح لا تختلف عن طريقة بدء مصباح الزئبق ولكن نظرا لوجود الهاليد المعدنى فتحتاج هذه المصابيح الى جهد بدء أعلى من جهد المنبع ولذلك فان الدائرة الكهربية لهذه المصابيح تحتوى (بالاضافة الى كابح للتيار) على بادىء الكترونى خاص يقوم بتوليد سلسلة من نبضات جهد عالى (600 — 700 فولت) ثم ينفصل تلقائيا عن الدائرة عند اشتعال المصباح (شكل 3—30). ويحتاج المصباح الى ما بين خمس وست دقائق لكى يعطى 80% من اضاءته الذروة·واذا انطفأ المصباح فهو يحتاج الى فترة قد تصل الى 15 دقيقة قبل اعادة اشعاله وهى أطول من الفترة اللازمة فى حالة مصباح الزئبق · والسبب



شكل 3 — 30

فى ذلك هو أن درجة حرارة أنبوبة مصباح الهاليد أعلى من درجة حرارة أنبوبة مصباح الزئبق ولذا فهى تحتاج الى وقت أطول لكى تبرد وينخفض ضغط البخار الى القيمة التى تسمح باعادة الاشعال ٠

أما عمر المصباح فهو حوالى 7000 ساعة وهو أقل بكثير من عمر مصباح الزئبق ٠ ويرجع ذلك الى الاختلاف فى نوع المادة الابتعـــاثية المستخدمة فى كسو الالكترودات ٠ فالمادة المستخدمة فى مصابيح الزئبق لها معدل تبخر بطىء ولكن لا يمكن استخدامها فى مصابيح الهاليد نظرا لتفاعلها الكيمائى مع اليـود فى حين أن المادة الصالحة للاستخدام فى مصابيح الهاليد لها معدل تبخر كبير نسبيا ٠

ومقدرات مصابيح الهاليد المعدنى التى تصنع حاليا هى 220 ، 360 ، 1000 وات / 220 فولت بالنسبة للمصابيح ذات الغلاف البيضى الشكل (متفسفر) أو الانبوبى الشكل (صـــاف) ، و 2000 ، 3500 وات / 380 فولت بالنسبة فقط للمصابيح ذات الغلاف الانبوبى ٠

تستخدم مصابيح الهاليد المعدنى ذات واتية 250 أو 360 (مع ناشر ضوء مناسب) لانارة الاماكن الخارجية أو الداخلية التى تحتاج الى أمانة نقـل ألوان عالية وقدرة ابتعاثية ضيائية عالية ٠ أما المصابيح ذات الواتية العـالية فهى تستخدم أساسا لانارة الملاعب الكبيرة بشدة اضاءة عالية (وهى ضرورية بالنسبة للتليفزيون الملون) وأيضا لانارة الملاعب الصغيرة حيث يمكن الحصول على مستوى الاضاءة المطلوب بعدد صغير من المصابيح ٠

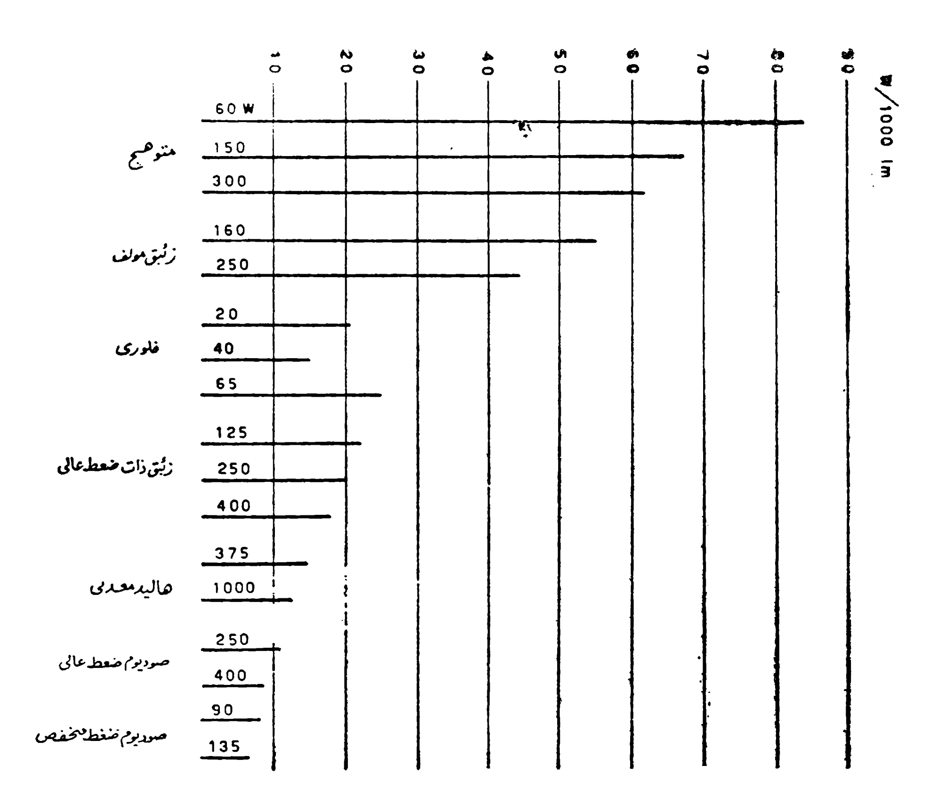
4.3 ملخص

يجدر بنا أن ننهى هذا الباب بملخص نقارن فيه أهم خاصيتين لجميـــع أنواع المصابيح هما القدرة التأثيرية الضيائية ودليل أمانة نقل الاوان ٠ ويبين الجدول التالى هذه المقارنة الا أنه يجب أن ننبه القـارىء أنه نظـرا للتقـدم التكنولوجى والعلمى السريع فان جميع الارقام المبينة فى هذا الجدول فى تغيير مستمر والى الاحسن ٠

جـدول 2.3 ملخص للقدرة الضيائية ودليل أمانة نقل الالوان للمصابيح المختلفة

نوع المصبـــاح	الاستخدام النموذجى	القدرة الضيائية (لومن/وات)	دليل الالوان
متوهج عـــادى	الاضاءة المنزلية	13	100
متوهج عالى القدرة	اضاءة داخلية على ارتفاعات كبيرة	18	100
تنجستن ـ هالوجين	الاضاءة الغـامرة	21	100
زئبق ذات ضوء مولف	بديل للمصباح المتوهج	20	70
زئبق ذات ضغط عالى	اضاءة الشوارع والاضاءة الداخلية فى المصانع	55	40
هاليد معـــدنى	اضاءة داخلية فى المصانع	75 — 100	70 — 90
فلـــورى	اضـاءة عـامة	80 — 90	55 — 85
صوديوم ذات ضغط عـــالى	اضاءة الشوارع والمناطق التجارية	115	20
صوديوم ذات ضغط منخفض	اضاءة الشوارع	185	— 45

واذا أردنا أن نقارن بين المصابيح المختلفة من وجهة نظر استهلاكها للطاقة الكهربية فيتم ذلك بمقارنة معكوس قيمة القدرة الضيائية أى مقارنة عدد الوات لكل لومن ٠ ويعطى الشكل (3 - 31) هذه المقارنة لانواع المصابيح المختلفة على أساس الوات لكل ألف لومن ٠



شكل 3 — 31 مقارنة بين القدرة الكهربية المستهلكة وات/ 1000 لــومن لانواع المصابيح المختلفة

الفصل الرابع

الأضـــاءة الداخليـــة

1.4 مقـــــدمة :

ترتبط الاضاءة الداخلية للمبانى الجديدة ارتباطا وثيقا بالشكل المعمـارى للمبنى ولذلك يجب أن يكون هناك منذ البداية تعـاون بين المهندس المعمارى (ومهندس تكييف الهواء اذا احتاج الامر) من ناحية ومهندس الاضاءة من ناحية أخرى • ويحتاج مهندس الاضاءة الى لوحات تبين المساقط الافقية والمقـاطع المختلفة لكل الاماكن المراد اضاءتها وكذلك تفاصيل الاسقف فقد تكون الاضاءة غير مباشرة أو متكاملة مع نظام مسالك التكييف (Integrated Ceiling System)

ويقـــوم مهندس الاضـــاءة بعمـل ترتيبات وضـع المواسير التى تحمـل الاسلاك المستخدمة لنقل الطاقة الكهربية وذلك قبل صب الخراسانات الخاصة بالاسقف والاعمدة والكمرات وما الى ذلك • ويجب أيضا أن تتوافر لدى مهندس الاضاءة ألوان دهانات الحوائط والاسقف فى الغرف المختلفة بالاضافة الى نوع الارضيات وكذلك الاستخدامات المختلفة لكل من هذه الغرف •

2.4 متطلبات الاضـــاءة

تعتمد أساسا كمية ونوعية الاضاءة المطلوبة لانارة مساحة ما على الغرض من استخدام هذه المساحة وعلى نوع العمل الذى سيتم فيها والمهام الابصارية المرتبطة بهذا العمل فقد تكون المساحة مخصصة لتنفيذ أعمال أو أشغال معينة أو لعرض السلع والاعمال الفنية أو للاعاشة أو مخصصة لغرض المرور من منطقة الى أخرى مثل المداخل والممرات والسلالم ••• الخ •

ففى الاماكن المخصصة للعمل الهدف هو اعطاء اضاءة كافية للرؤية الجيـدة داخل المكان وخاصة على مستوى التشغيل • ويعـــرف مستوى التشغيل بأنه مستوى مساحته مساوية لمساحة أرضية الغرفة ومرتفع عنها بمسافة تتراوح بين 70 و 90 سنتيمتر •

وفى المساحات التى تستخدم لعرض السلع أو المعروضات يجب اختيار الاضاءة بحيث تظهر هذه المعروضات فى أفضل وضع لها • وفى واجهات العرض للمتاجر يجب أن يكون تصميم الاضاءة فعال بحيث تظهر السلع المعروضة فى وضع جذاب وهذا يتم باستخدام مستوى عالى للنصوع أو باستخدام اضاءة مركزة من مصابيح خاصة أو باستخدام منابع ضوئية ملونة ومركزة فى نفس الوقت • أما فى المتاحف وصالات الفنون الجميلة فيجب أن تظهر الاضاءة الالوان الحقيقية للتحف المعروضة وفى نفس الوقت يجب اختيار شدة الاضاءة بحيث لا تتسبب فى أى تغيير أو بهتان لالوانها نتيجة لتعرضها للاضاءة لفترات طويلة •

وفى المساحة المخصصة للاعاشة يكون الطابع الجمالى للاضاءة والراحة الابصارية هما أهم العناصر التى يتحدد على أساسها نوع الاضاءة • أما فى المساحات المخصصة للاتصال فالغرض الاساسى من الاضاءة هو التوجيه والامان • أما بالنسبة للسلالم مثلا فان الاستضاءة الرأسية قد تكون أهم من الاستضاءة الافقية •

3.4 البهر (Glare)

اذا زاد نصوع جسم ما فى مجال الرؤية فقد يؤدى ذلك اما الى تعذر الرؤية أو الى اجهاد بصرى وفى كلتا الحالتين يقال أن العين تعانى من البهر الضوئى• ورغم أن عين الانسان تستطيع أن تكيف، نفسها للرؤية على مدى واسع من النصوع قد تصل النسبة بين أقل درجة نصوع وأعلى درجة الى عدة آلاف الا أنه عند كل درجات النصوع هناك حدود للرؤية الواضحة•فعند درجات النصوع الضعيفة لا تظهر دقائق الجسم المراد رؤيته أما اذا كان النصوع شديدا فلا تشعر العين بالراحة عند ملاحظة دقائق الجسم • وقد يكون النصوع من الشدة بحيث تفقد العين القدرة على متابعة رؤية الجسم بوضوح • وينقسم البهر الى نوعين : البهر المعوق (Disability Glare) وهو البهر الذى يؤثر على الادراك البصرى بحيث تصبح الرؤية غير واضحة و البهر المزعج (Discomfort Glare) وهو الشعور بعدم الارتياح بعد التواجد لفترة من الزمن فى مكان به كمية صغيرة من البهر •

والبهر المزعج هو أهم النوعين بالنسبة للاضاءة الداخلية ويعتمد أساسا على العوامل الاتية :

أ) نصوع منابع الضوء

ب) عدد منابع الضوء وحجمها الظاهرى

ج) النصوع العام للمنطقة المحيطة بمجال الرؤية (نصوع الخلفية) ·

د) موضع مصدر الضوء بالنسبة لمجال الرؤية ·

ويمكن تقسيم كلا النوعين من البهر الى بهر مباشر (Direct Glare) وبهر غير مباشر أو منعكس (Reflected Glare) · والبهر المباشر هو البهر الناتج من المنابع والاسطح الشديدة النصوع مثل الفوانيس والثريات والاسقف والنوافذ التى تقع خارج مجال الرؤية · أما البهر المنعكس فهو البهر الناتج عن الانعكاسات المنتظمة من الاسطح المصقولة فى مجال الرؤية أو تكون مجاورة له ·

ويبين الشكل (4 — 1) البهر المباشر وغير المباشر من ثريا معلقة · البهر المباشر ناشىء من المنبع نفسه أما الغير مباشر فهو ناشىء بسبب انعكاس الضوء من السطح الافقى اللامع ويتوقف هذا النوع من البهر على العوامل الاتية:

أ) درجة نصوع الجسم ·

ب) معامل انعكاس سطح الجسم والاشياء المحيطة به ·

ج) اتجاه الضوء المنعكس من السطح أو الاسطح المجاورة ·

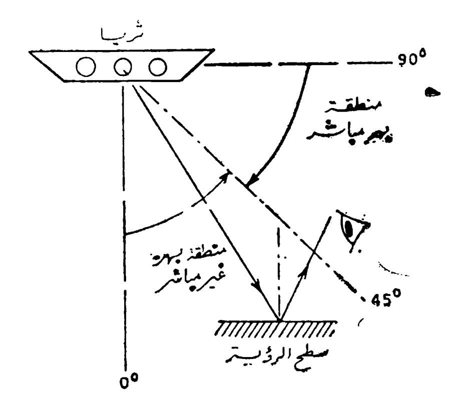
د) كمية الضوء الساقط فى اتجاه مشاهدة الجسم ·

ه) حجم الجسم المشاهد ·

ويجب أخذ هذه العوامل والعوامل التى سبق ذكرها فى الاعتبار حتى نشعر بالراحة عند رؤية الاشياء · ولتحقيق ذلك يجب مراعاة النقاط التالية :

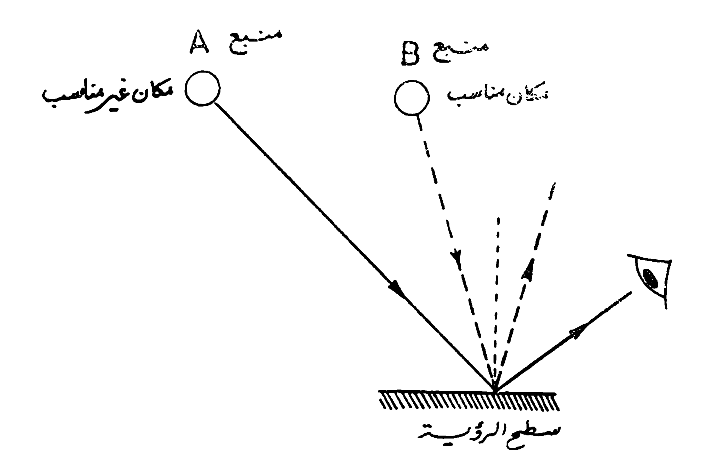
أ) يجب ألا تكون درجة نصوع الجسم والخلفية متساوية ·

ب) يفضل أن يكون انعكاس الجسم للضوء أكبر من انعكاس الخلفية المحيطة به ·



شكل (4 — 1)

جـ) يجب أن توضع المصابيح فى أماكن مناسبة داخل الحيز المضاء فمثلا يبين شكل (4 — 2) منبعين للضوء أحدهما فى مكان مناسب والاخر فى مكان غير مناسب بالنسبة للسطح أو الجسم المراد رؤيته ٠



شكل (4 — 2)

د) يجب أن تكون الاضاءة بحيث يسقط الضوء على الجسم من اتجاهات عديدة ويتم ذلك باستخدام عدد من المصابيح موضوعة فى أماكن مختلفة ٠

هـ) يجب الاخذ فى الاعتبار مصادر الاضاءة الطبيعية مثل النوافذ ، وكمية الضوء الطبيعى داخل الغرفة ٠ فقد تكون الاضاءة الناشئة من النافذة مثلا مصدرا للبهر فنجد أن قيمة نصوع السماء التى يبدأ عندها الاحساس بالبهر هى 2000

جـدول 4 - 1 قيم الاستضاءة الموصى بها فى الاماكن المختلفة

المكـــان	أقل استضاءة (لوكس)	المكـــان	أقل استضاءة (لوكس)
(1) صالة عرض فنية			
عـــامة	300	مكتب قطع التذاكر	1000
للرســومات	300	المحاسب	1000
بها تماثيل ومعروضات	1000	غرفة راحة	300
صالة لتجمع الجمهور	150	أرصفـــة	200
معـــرض	300	أماكن رفع العفش	200
محل عرض سيارات	300	سلالم متحــركة	200
		(6) الجراجات وخدمة السيارات	
(2) بنـــك			
دهليز	500	تصليح	1000
مساحة بها كتبة	700	منطقة نشطة بالمرور	200
مكتب صيارفة	1500	مدخل الجاراج	500
مكتب بريد	1500	خطوط انتظار السيارات	50
مكاتب عـادية	100	**(7) المستشفيات :**	
(3) محــكمة		غرف التحضير والبنج	300
		غرف العمليات : عام	1000
مكان جلوس الجمهور	300	موضعى	20000
مكان المرافعات	700	غرف فحص : عام	500
الممرات	200	موضعى	1000
		معامل : عام	300
(4) غرف رسم		موضعى	1000
رسم تخطيطى ابتدائى	1500	عناية مركزة : عام	300
رســم دقيق	2000	موضعى	1000
		غرف المرضى	
(5) المحطـــات		عـــام	200
غرف انتظار	300	قــراءة	300

المكان	أقل استضاءة لوكس
فحص	1000
ليـــلى	5
الحمـــام	300
غرف تشريح : عام	1000
موضعى	10000
الممرات أثناء النهار	300
أثنـــاء الليـل	30
(8) الفنـــادق	
غرفة استحمام	300
غـرفة كتــابة	300
ممرات وسلالم	200
مداخـــل	300
غرف الابياضات	200
غرف خياطة	750
منطقة قراءة	300
(9) مكتبـــات	
غرفة مذاكرة	700
غرفة قراءة عادية	500
تصليح كتب وتجليدها	500
كتالوجـــات	700
مكان ترتيب كروت	700
مائدة مراجعـــة	700
(10) أقسام البوليس والبلدية والاطفاء	
غرفة تعــارف	800
غرفة سجن	300
غرفة اطفاء (مخزن)	300
غرفة السيارات الخاصة بالاطفاء	300

المكان	أقل استضاءة لوكس
(11) المتاحف وصالات العروض الفنية	
غرف تصميم وتخطيط	2000
مكاتب	1000
كتــابة	700
ممرات وسلالم ومصـــاعد	200
(12) مكاتب البريـد	
غرفة الصراف	300
غرفة فرز الخطابات	1000
(13) عيادات عــامة	
غـرفة استقبال	300
غـرف انتظار	150
غـرف قـراءة	300
فحص وعـلاج	500
مائدة فحص	1000
كرسى فحص أسنان	10000
معمـــل	1000
غرفة فحص عيون	500
(14) مطاعم وغرف غذاء	
غرفة الصراف	500
غرفة النظافة	200
خـدمة سريعة	1000
عرض طعـام	500
مطبخ	700
غرفة غـذاء	1000

المكــان	أقل استضاءة لوكس	المكــان	أقل استضاءة لوكس
(15) المدارس		غرفة خياطة ورفا	750
قراءة كتاب مطبوع	300	غرفة طبيخ	500
قراءة كتابة بالقلم الرصاص	700	غرفة شـــاى	700
		غرفة موسيقى (عزف)	500
غرفة شف رسم	1000	غرفة مذاكرة	500
غرفة رسم تخطيطى	1000	غرفة سماع موسيقى مسجلة	300
غرفة خيــاطة	750		
فصل دراسى	1000	غرفة تواليت	500
السبورة	1200	غرفة حمـــام	100
غرفة سكرتارية	400	غرفة اعاشة	300
غرفة معمـــل	500	ســـلالم	100
غرفة مخــزن	200	غرفة انتظـــار	250
غرفة آلة كاتبة	700	ممـــرات	100
صالة لعب كرة سلة أو فــولى	500	غرفة نوم أطفال أثناء النوم	10
صالة ألعاب رياضية	500	ممـر خـروج	100
		غــرفة نوم	150
(16) منازل سكنية		غرفة كى ملابس	500
غرفة مكتب	300		

كندلا/م٢ تقريبا وهى تناظر استضاءة أفقية قيمتها حوالى 10000 لـــوكس والطريقة الوحيدة للاقلال من هذا النصوع هى استخدام ستارة أو مصراعلحجب ضوء النافذة ٠

4.4 كمية الاستضاءة :

يعطى الجـــدول (4 — 1) الاستضاءة المناسبة بوحدات اللوكس داخـــل الاماكن والحيزات المختلفة وهذه القيم منتقـــاة نتيجـــة للتجربة والمشاهدة فى المعمل وهى مرتبطة بالاجسام أو الاشياء المراد مشاهدتها ٠ والارقام المعطاة هى الحدود الصغرى لشدة الاستضاءة داخل هذه الاماكن بغض النظـــر عن مكان

الجسم داخل الغرفة والحيز المعين • ويجب الاخذ لآ الاعتبار أن مستوى الاضاءة قد ينخفض نتيجة لعوامل كثيرة منها مثلا تقادم عمر الثريات المستخدمة أو تغيير معاملات انعكاس الحوائط نتيجة اتغيير ألوانها أو اتساخها •

5.4 النظم المختلفة لتوزيع الاضاءة

تصنف نظم الاضاءة على حسب كمية الاستضاءة الموجهة الى أسفل الثريات فى اتجاه مستوى التشغيل وكمية الاستضاءة الموجهة الى أعلى حيث تنعكس على الاسقف وتتناثر بانتظام داخل الغرفة أو الحيز المراد اضاءته • ويعطى الجدول (4 — 2) بيان انظم الاضاءة الموصى بها عمليا (أنظر شكل 4 — 3 , 4 — 4)

جدول 4 — 2 نظم الاضاءة الموصى بها عمليا

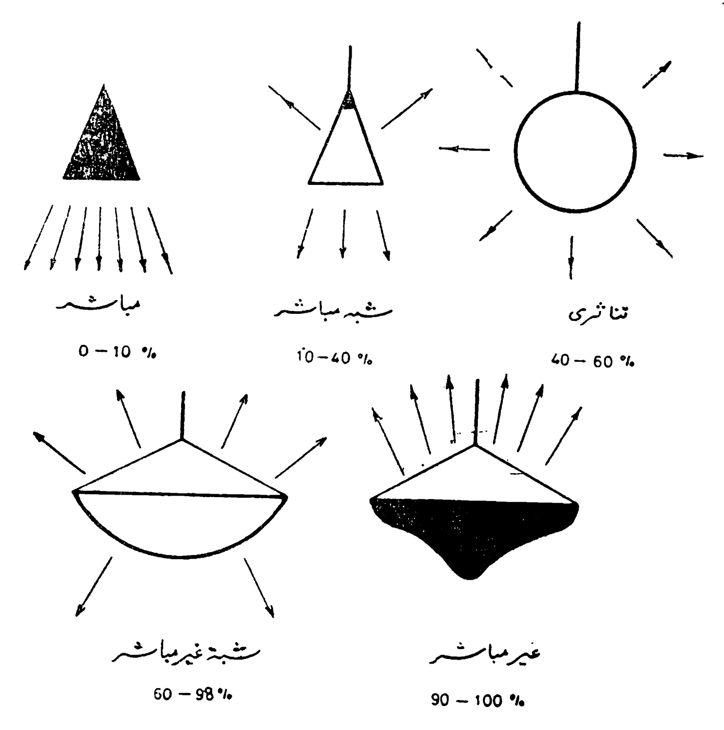
نوع النظام	توزيع الاستضاءة الناشئة عن الثريا	
	أعلى %	أسفل %
غير مباشر	100 — 90	0 — 10
شبه غير مباشر	90 — 60	10 — 40
تنـــاثرى	60 — 40	40 — 60
شبه مباشر	40 — 10	60 — 90
مباشر	10 — 0	90 — 100

1.5.4 الاضاءة التناثرية

فى هذه الحالة تكون الاضاءة موزعة تقريبا بالتساوى بين النصف العلوى والنصف السفلى من الغرفة • وهذا النوع من الاضاءة يجمع بين الاضاءة المباشرة الغير مباشرة • ويناسب هذا النوع من الاضاءة الاجسام التى يراد اظهار أبعادها الثلاثة حيث تعطى تجسيما لها • ويبين الشكل (4 — 4 أ) النموذج الضيائى لهذا النوع من الاضاءة •

2.5.4 الاضاءة شبه غير المباشرة

فى هذه الحالة يكون النموذج الضيائى للشدة الضيائية موجها نحو السقف مع وجود جزء ضئيل فى الاتجاه السفلى (شكل 4 — 4 ب) • ولا يصلح هذا النظام الضيائى اذا كان ارتفاع السقف كبيرا أو اذا كان لون السقف معتما • ويساعد الانعكاس المتتالى من حوائط الغرفة على انقاص البهر على سطح التشغيل • ويجب أن يكون السقف سطحا تناثريا له معامل انعكاس لا يتغير بمرور الزمن •



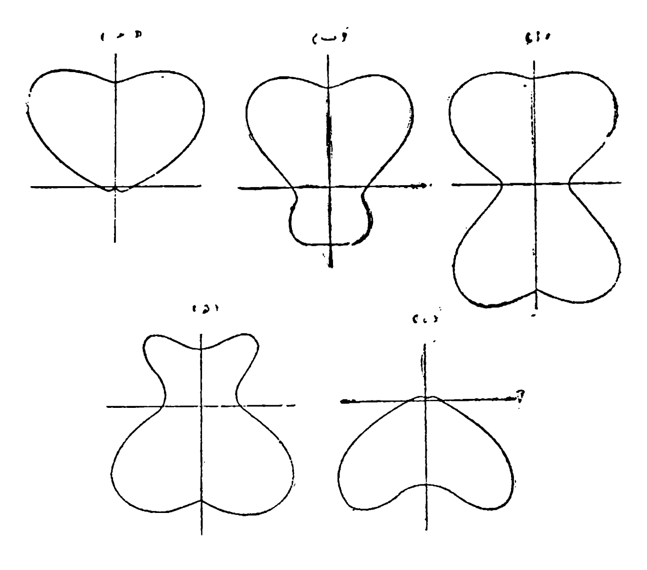
شكل 4 — 3

3.5.4 الاضاءة غير المباشرة

أحد الخصائص الاساسية لهذا النوع من الاضاءة هو أن الشدة الضيائية للنموذج الضوئى للمنبع تنعدم فى جميع الاتجاهات السفلية كما هو مبين بالشكل (4 — 4 ج)• فنجد أن نصوع المنبع أقل ما يمكن بالنسبة للمشاهد ولا يصاحب هذا النوع من الاضاءة أى خيالات أو ظلال ولذلك فهو لا يستخدم فى المتاحف والمعارض ولا يصلح لرؤية الاجسام الدقيقة •

4.5.4 الاضاءة المباشرة

فى هذه الحالة تتركز كل الطاقة الضوئية الى أسفل (شكل 4 — 4 د) • وهذا النوع من الاضاءة يستخدم فى الورش والمخازن ولاضاءة الاشغال الدقيقة مثل تركيب وتصليح الساعات والآلات الدقيقة والتفصيل والحياكة حيث تكـــون الاستضاءة عالية على أسطح التشغيل وتكون الفوانيس فى هـــذه الحالة ذات مصابيح من نوع الفتيلة داخل عواكس معدنية مطلية بمواد لامعة مناسبـــة • والاضاءة المباشرة ضرورية فى غرف العمليات الجراحية ومراكز تجميع الآلات الدقيقة حيث تصل الاستضاءة الى 1000 لوكس أو أكثر •



شكل 4 — 4

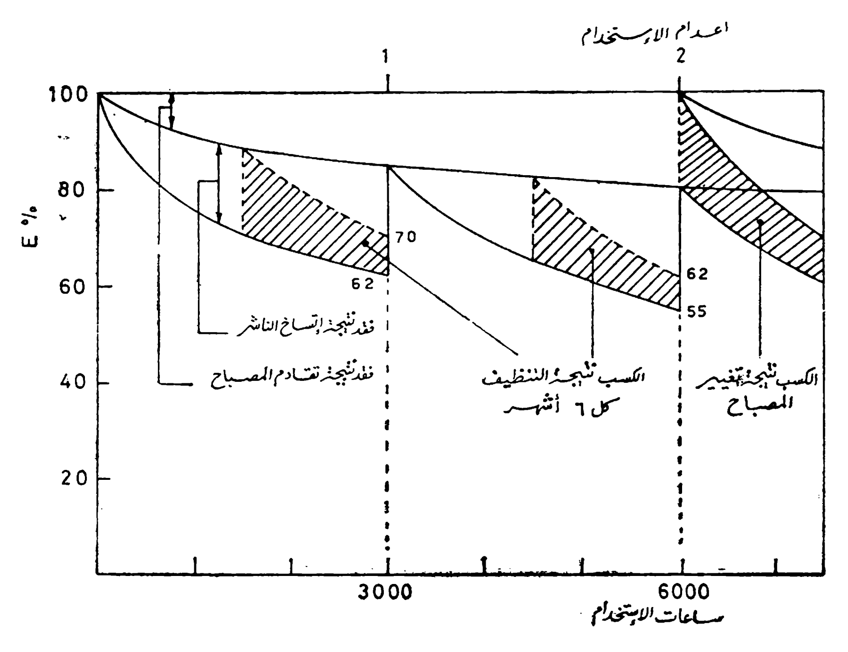
5.5.4 الاضاءة شبه المباشرة

فى هذا النوع تتركز الاضاءة فى الاتجاه الاسفل بنسبة قد تصل الى 90% من الطاقة الضيائية الكلية للمنبع (شكل 4 — 4 هـ) • وفى هـذه الحالة تكون لالوان الحوائط والاثاث تأثير كبير على الاضـــاءة عن طريق انعكاس وتناثر الضوء منها • هذا النوع من الاضاءة مناسب للغرف السكنية والممرات والمعامل•

6.4 ثبات مستوى الاضاءة

ينخفض مستوى الاستضاءة تدريجيا مع مرور الزمن • ويرجع ذلك الى سببين : السبب الاول هو الانخفاض فى الفيض الضيائى الخارج من المصباح

نتيجة لتقادمه والسبب الثانى هو تراكم الاتربة أو أنواع أخرى من التـــلوث على سطح المصباح نفسه وعلى سطح ناشر الضوء الخاص به وأيضا على جميع أسطح الحيز المضاء وخاصة على السقف والحوائط مما يقلل من كميـة الضـوء المنعكس منهم ٠ (وهذا له تأثير كبير عندما تكون الاضاءة غير مباشرة أو يكون حجم الحيز المضاء صغيرا)٠ ولذلك فانه يجب تنظيف جميع الاسطح من وقت لاخر للاحتفاظ بمستوى مقبول للاضاءة ٠ ويبين الشكل (4 — 5) تأثير التنظيف الدورى وكذلك تغيير المصباح على الاستضاءة الناتجة من نظام اضاءة يستخدم مصابيح فلورية٠ وعند تصميم أى نظام للاضاءة يجب الاخـــذ فى الاعتبـار الانخفاض فى مستوى الاضاءة مع الزمن باختيار قيم للاستضاءة أعـــلى من القيم المطلوبة ٠ وقد تعتمد هذه القيم على نظام الصيانة المتفق عليه بين المصمم وصـــاحب الشأن والذى يجب الالتزام به للمحافظة على مستوى الاستضـــاءة المطلوبة ٠



شكل 4 — 5

وجدير بالذكر أنه يمكن الاقلال من تراكم الاتربة على المصابيح ونواشر الضوء باستخدام تهوية مناسبة فى الناشر نفسه تعتمد على تيـارات الحمل الحرارى لابعاد الاتربة من سطح الناشر العاكس للضوء ٠

جـــدول 4 — 3 أ

خواص بعض المواد العاكسة للضوء

المـــادة	النسبة المئوية للانعكاس	الخـــواص
انعكاس منتظم (p.cular)		
مرآة زجـاجية	90 — 80	يمكن التحكم فى اتجاه الانعكاس
مرآة بلاستيكية	85 — 75	من هـــذه المـــواد • ولذلك فهى
الومنيوم مصقول	70 — 60	تستخدم لاعطـــاء ديكور اضافى
كروم مصقول	65 — 60	مؤثر
صلب غير قابل للصدأ	65 -- 55	
زجاج ذات لون اسود	5	
افتـــراش (Spread)		
الومنيوم تناثرى	80 — 70	هذه المواد تفرش الضـــوء وتعكس
كروم ساتينى	55 — 50	جزءا دنه انعكاسا منتظما
الومنيوم مطفى	58 — 55	
صينى	90 — 60	
دهان الومنيوم	70 — 60	
انتشـــار (Diffuse)		
جص أبيض	92 — 90	فى هذه الحالة تظهر المادة العاكسة
دهـــان أبيض	90 — 75	مضاءة بانتظام فى كل الاتجاهات
زجاج مسنفر	80 — 75	ولذلك تستخدم هذه المواد فى كثير
حجر جيرى	65 — 35	من الاحيان لاعطاء خلفية مضاءة

جـــدول 4 — 3 ب

خــواص بعض المــواد النفــاذة للضــوء

المـــادة	النسبة المئوية للنفاذ	الخــواص
الزجـــاج		
زجـاج نقى	80 — 90	1 - الامتصاص بسيط • والنفاذ مركز 2 - تستخدم كغطاء واقى لبعض المصابيح
زجاج مصنفر	75 — 80	3 - الامتصاص بسيط يستخدم فى غطاء المصابيح لاعطاء بعض الاضاءة الخلفية
زجاج صينى	15 — 40	4 - معامل الامتصاص كبير نسبيا • 5 - مواد انتشار جيـــدة ولذلك تستخدم لاعطاء فرش متساوى •
البلاستيك		
عدسات بلاستيكية	70 — 92	1 - امتصاص بسيط بغير انتشار 2 - يستخدم كواقى للمصابيح الفلورية
بلاستيك أبيض	30 — 70	3 - معامل الامتصاص كبير نسبيا 4 - يستخدم كغطاء للمصابيح الفلورية
بلاستيك ملون	90 — 0	
الرخــــام	30 — 5	1 - معامل الامتصاص كبير نسبيا 2 - مادة ناشرة للضوء ممتازة 3 - تستخدم فى نوافذ العرض
الالبستر	50 — 20	1 - لها امتصاص كبير وانتشار جيد 2 - يسقط الضوء عليها لاعطاء أشكال ديكورية مقبولة •

7.4 المواد العاكسة والمواد النفاذة للضوء

يبين الجدول (4 — 3 أ) خواص بعض المواد العاكسة للضوء أما الجـدول (4 — 3 ب) فيعطى خواص بعض المواد التى ينفذ خلالها الضوء ٠

8.4 خطوات تصميم الاضاءة الداخلية

خطوات تصميم الاضاءة الداخلية تحتوى على ثمانية عشرة خطوة مقسمة الى أربعة مجموعات أساسية أ ، ب ، جـ ، د ، كالاتى :

أ) <u>الغرض من التصميم والمواصفات</u>

1. نوعية المهام الابصارية
2. جودة الاضاءة المطلوبة
3. كمية الاضاءة المطلوبة
4. نوعية الجو المحيط بالمنطقة المراد اضاءتها من حيث درجة التلوث٠
5. وصف المساحة والمنطقة المراد اضائتها
6. اختيار المصابيح المناسبة

ب) <u>عوامل تؤدى الى فقد ضوئى لا يمكن استعادته أو التحكم فيه بواسطـــة الصيـــانة</u>

7. درجة حرارة مصابيح الاضاءة
8. جهد مصابيح الاضاءة
9. عامل كابح التيـــار
10. تناقص الاضاءة الناتج عن تغيير طبيعة سطح ناشر الضوء

جـ) <u>عوامل تؤدى الى فقد ضـــوئى يمكن استعادته أو التحـــكم فيه بواسطة الصيـــانة</u>

11. مقدار اتساخ سطح الاماكن المضاءة
12. احتراق المصابيح
13. انخفاض الفيض الضيائى المنبعث من المصابيح نتيجة للاستعمال (التقـــادم)

14. انخفاض الفيض الضيائى المنبعث من ناشر الضوء نتيجة لاتساخه

د) الحسابات

15. عامل الفقد الكلى
16. تحديد عدد مصابيح الاضاءة وشدة كلا منها
17. تحديد أماكن مصابيح الاضاءة
18. مراجعة الاضاءة بعد التصميم

ناقشنا الخطوات الثلاثة الاولى فى الاجزاء السابقة من هذا الفصل ٠

الخطوة الرابعة :

تتعلق هذه الخطوة بمدى تلوث الجو المحيط بالمكان المراد اضاءته ويمكن تصنيف مدى هذا التلوث الى خمس درجات

نظيف جدا	(VC)	Very clean
نظيف	(C)	Clean
متوسط	(M)	Medium
متسخ	(D)	Dirty
متسخ جـدا	(VD)	Very dirty

الخطوة الخامسة :

فى هذه الخطوة نحصل على وصف كامل للمكان المراد اضاءته مثل ابعـاد هذا المكان ومعامل انعكاس الحوائط المختلفة والسقف والارضية ووضع مستوى التشغيل وعدد ساعات التشغيل فى اليوم الواحد ٠

الخطوة السادسة :

يتم فى هذه الخطوة اختيار نوع المصابيح المناسبة على ضوء الخطـوات الخمس السابقة مع الاخذ فى الاعتبار كل العوامل الاخرى مثل شكل المصابيح وتكلفتها ٠

الخطوة السابعة :

تختص هذه الخطوة بدرجة الحرارة المحيطة التى ستعمل فيها مصابيح الاضاءة • وقد لوحظ أن تغيير درجة حرارة الغرفة لا يؤثر على أغلب أنواع المصابيح الا المصابيح الفلورية فهى تتأثر بشدة بأى تغيير فى درجات الحرارة المحيطة بها • كل وحدة مكونة من مصباح فلورى وناشر الضوء الخاص به لهما منحنى خصائصى مميز يبين العلاقة بين الفيض الضيائى ودرجة الحرارة المحيطة (الباب الثالث فقرة 2.3.3)

الخطوة الثامنة :

تختص هذه الخطوة بدراسة تغير خواص المصابيح المستخدمة مع التغيير فى الجهد عن القيمة المقننة • فنجد مثلا أن المصابيح ذات الفتيلة المتوهجة تتأثر بشدة بتغيير الجهد المسلط عليها (شكل 3 — 5) فتغيير مقداره واحد فى المائة فى الجهد يؤدى الى تغيير كمية الفيض الضيائى مقداره ثلاثة فى المائة فى حين أن المصابيح الفلورية تعطى تغييرا مقداره واحد فى المائة فقط فى الفيض الضيائى نتيجة لتغيير مقداره اثنين ونصف فى المائة فى الجهد المقنن •

الخطوة التاسعة :

يتأثر الفيض الضيائى للمصباح بشدة اذا كان كابح التيار المستخدم فى دائرة هذا المصباح غير مناسب •

الخطوة العاشرة :

ان أى تغيير فى خواص المواد المستخدمة فى صناعة ناشر الضوء يؤدى الى نقص فى الفيض الضيائى الخارج منه • وقد لوحظ أن خواص الزجاج أو الصينى أو الالومنيوم لا تتغير مع الزمن بينما تتغير خواص المينا والدهانات الاخرى وجميع أنواع اللدائن الى حد ما مع الزمن غير أنه لا يوجد حتى الان أى عامل مناسب لاخذ هذا التغيير فى الاعتبار •

الخطوة الحادية عشر :

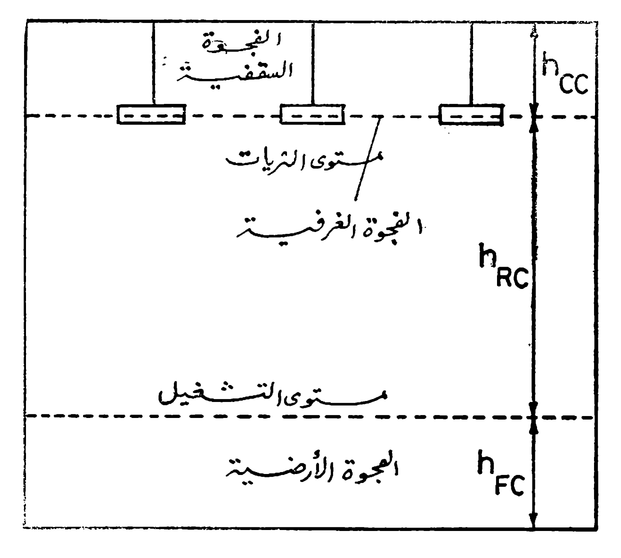
تختص هذه الخطوة بانخفاض مستوى الاضاءة نتيجة لاتساخ حوائط

وسقف وأرضية الغرف المضاءة • فقد لوحظ أن تراكم الاتربة على حوائط وسقف الغرفة يؤدى الى انخفاض كمية الاضاءة المنعكسة من هذه الاسطح وبالتالى الى انخفاض الاضاءة داخل هذه الغرفة • ويعطى الجدول (4 — 4) قيمة عامل اتساخ الغرفة للنظم المختلفة لتوزيع الاضاءة بداخلها (فقرة 5.4) بدلالة النسبة الفجوية للغرفة (room cavity ratio) المعطاة فى العمود الاول • ويمكن تعيين معامل الاتساخ (Room Surface Dirt Depreciation - RSDD) داخل الغرفة كما يأتى :

من الخطوة الرابعة يمكن تقدير مدى الاتساخ الذى ستتعرض له الغرفة • افترض أن مدى تلوث جو الغرفة هو من الدرجة الثالثة أى (D) وأنه من المتوقع أن يتم تنظيف الحوائط والسقف والارضية كل أربعة وعشرين شهرا • باستخدام المنحنى المبين بأعلى الجدول (4 — 4) يمكن ايجاد المعامل المئوى المتوقع لمقدار فقد الاتساخ وقيمته 30%

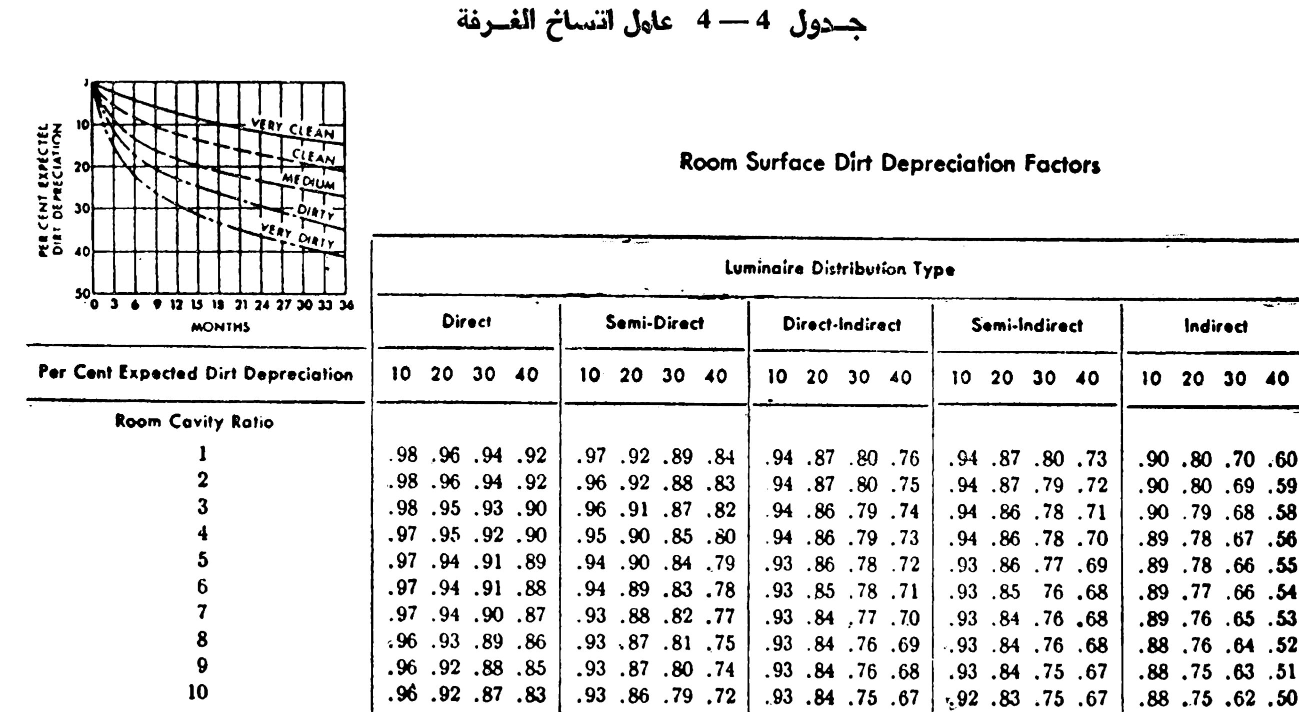
النسب الفجوية للغرفة

يعتمد تصميم الاضاءة الداخلية على النسب الفجوية للغرفة فتقسم الغرفة الى ثلاثة فجوات (انظر شكل 4 — 6) •



شكل 4 — 6

جـدول 4 — 4 عامل انتساخ الغـرفة



Room Surface Dirt Depreciation Factors

	Luminaire Distribution Type																			
	Direct				Semi-Direct				Direct-Indirect				Semi-Indirect				Indirect			
Per Cent Expected Dirt Depreciation	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
Room Cavity Ratio																				
1	.98	.96	.94	.92	.97	.92	.89	.84	.94	.87	.80	.76	.94	.87	.80	.73	.90	.80	.70	.60
2	.98	.96	.94	.92	.96	.92	.88	.83	.94	.87	.80	.75	.94	.87	.79	.72	.90	.80	.69	.59
3	.98	.95	.93	.90	.96	.91	.87	.82	.94	.86	.79	.74	.94	.86	.78	.71	.90	.79	.68	.58
4	.97	.95	.92	.90	.95	.90	.85	.80	.94	.86	.79	.73	.94	.86	.78	.70	.89	.78	.67	.56
5	.97	.94	.91	.89	.94	.90	.84	.79	.93	.86	.78	.72	.93	.86	.77	.69	.89	.78	.66	.55
6	.97	.94	.91	.88	.94	.89	.83	.78	.93	.85	.78	.71	.93	.85	76	.68	.89	.77	.66	.54
7	.97	.94	.90	.87	.93	.88	.82	.77	.93	.84	.77	.70	.93	.84	.76	.68	.89	.76	.65	.53
8	.96	.93	.89	.86	.93	.87	.81	.75	.93	.84	.76	.69	.93	.84	.76	.68	.88	.76	.64	.52
9	.96	.92	.88	.85	.93	.87	.80	.74	.93	.84	.76	.68	.93	.84	.75	.67	.88	.75	.63	.51
10	.96	.92	.87	.83	.93	.86	.79	.72	.93	.84	.75	.67	.92	.83	.75	.67	.88	.75	.62	.50

فجـــوة الغــرفة	Room cavity
فجوة السقف	Ceiling cavity
فجوة الارضية	Floor cavity

وتعين النسب الفجوية لهذه الفجوات الثلاثة من العلاقة

$$\text{cavity ratio} = 5\,h\,(L + W) / (L \times W)$$

حيث

للنسبة الفجوية للغرفة	(RCR)	$h = h_{RC}$
للنسبة الفجوية للسقف	(CCR)	$= h_{CC}$
للنسبة الفجوية الارضية	(FCR)	$= h_{FC}$

و L هى طول الغرفة ، W عرضها بالامتار · ويلاحظ أن فجوتى السقف والغرفة تندمجان معا فى حالتى الاضاءة شبه غير المباشر وغير المباشر ، أى أنه فى هاتين الحالتين تكون h هى المسافة بين مستوى التشغيل وسقف الغرفة ·

وبمعرفة المعامل المئوى المتوقع والنسبة RCR ونوع نظام الاضـــاءة المستخدم (مباشر ، شبه مباشر ،···) يمكن تعيين معامل اتساخ الغرفة فاذا كان نظام الاضاءة شبه مباشر ، RCR = 3 نجد أن الجدول يعطى قيمة معامل الاتساخ RSDD = 0.87

الخطوة الثانية عشر :

عندما يكون نظام الاضاءة جديدا فان معدل احتراق المصابيح يكون صغيرا جدا فى أول الامر ولكن مع تقادم النظام واقتراب المصابيح من عمرها الافتراضى يزداد هـــذا المعدل زيادة كبيرة بحيث يؤدى الى انخفـــاض كبير فى مستوى الاستضاءة اذا لم يتم استبدال المصابيح المحترقة أول بأول · ولكن فى أى نظام للاضاءة فانه من الجائز أن يسمح بوجود عدد معين من المصابيح المحترقة فى الفترة ما بين عمليتى صيانة · ولذلك يعـــرف عامل احتراق المصـــابيح (Lampburnouts - LBO) بأنه النسبة بين المصابيح المضاءة فعلا والعدد الكلى للمصابيح وذلك لاقصى عدد مسموح به من المصابيح المحترقة ·

الخطوة الثالثة عشر :

هناك عدة عوامل متأصلة فى تصميم وتشغيل أى مصباح تؤدى الى تقادمه أى الى انخفاض مستمر فى الفيض الضيائى الذى يعطيه خلال عمره • ويعطى المصنع المنتج للمصباح العمر العملى لكل نوع من أنواع المصابيح • ويقصد بالعمر العملى للمصباح بأنه الفترة الزمنية التى يستخدم فيها المصباح بحيث لا تقل قدرته التأثيرية الضيائية فيها عن حد معين • واذا نقصت عن هذا الحد يعتبر عمر المصباح قد انتهى ويجب استبداله بمصباح جديد • ويحدد الصانع معيارا لانخفاض الفيض الضيائى بالتقادم يعرف بعامل انخفاض الفيض الضيائى (Lamp Lumen Depreciation - LLD) •

الخطوة الرابعة عشر :

يؤدى اتساخ ناشر الضوء الى انخفاض فى الفيض الضيائى وتقدر قيمة هذا الانخفاض بعامل خاص يعرف بالانخفاض الاتساخى لناشر الضوء ، (Luminaire Dirt Depreciation - LDD) •

وتنقسم نواشر الضوء الى ست فئات (I — VI) على حسب درجة الصيانة المطلوبة أى على حسب قابليتها للاتساخ ويقوم الصانع بتحديد فئة الناشر ولكل فئة توجد علاقة بين عامل الاتساخ ومعدل التنظيف وذلك لكل درجة من درجات تلوث الجو المحيط كما هو مبين بشكل (4 — 7)

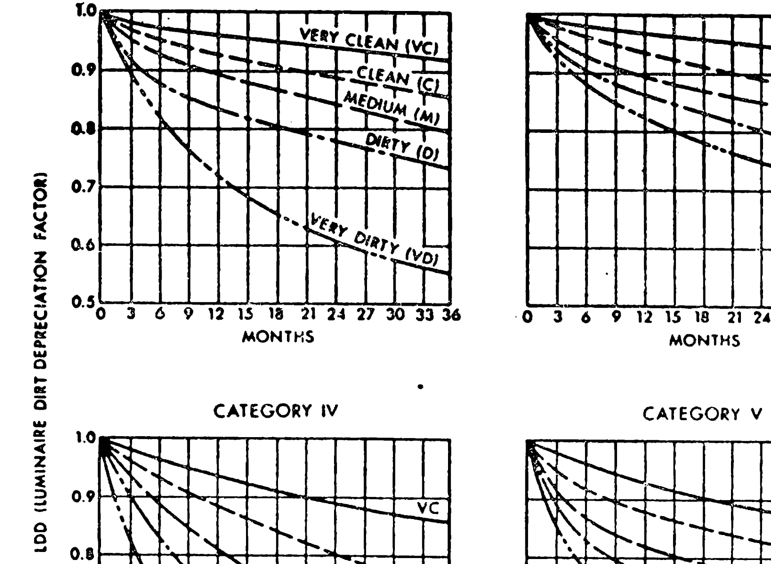
فاذا فرضنا أن فئة الناشر المستخدم هى V وأن الصيانة تتم كل 24 شهرا وأن الجو المحيط متسخ (D) نجد من الشكل (4 — 7) أن عامل الـ LDD هو

$$LDD = 0.72$$

الخطوة الخامسة عشر :

هذه الخطوة تختص بتعيين عامل الفقد الكلى (Light Loss Factor) وهو حاصل ضرب جميع العوامل التى استنتجناها من قبل فى الخطوات من السابعة حتى الرابعة عشر •

ويلاحظ أنه عندما يصعب الحصول على عامل من هذه العوامل فاننا نفرض



Luminaire Dirt Depreciation factors (LDD) for six luminaire categories (I to VI) and for five degrees of dirtiness

شكل 4 — 7

قيمته تساوى الواحد ٠ واذا لاحظنا أن العامل LLF صغيرا جدا بالنسبة للواحد الصحيح فيجب مراجعة التصميم باستخدام نوع آخر من المصابيح ٠

الخطوة السادسة عشر :

تختص هذه الخطوة بحساب عدد الثريات المستخدمة وشدة اضاءة كل منها ويمكن تسلسل هذه الخطوة كما يلى :

(أ) متوسط الاستضاءة على سطح مستوى التشغيل هى

$$E = \phi_t /A \qquad (1-4)$$

حيث A هى مساحة سطح التشغيل ، ϕ_t هو الفيض الضيائى الكلى٠ وحيث أن جزءا فقط من هذا الفيض يصل مستوى التشغيل فاننا نعرف عامل جديد يسمى معامل الانتفاع (Coefficient of Utilization - CU) وهو يمثل ذلك الجزء من الفيض الذى يسقط فعلا على مستوى التشغيل٠فتصبح الاستضاءة

$$E = \phi_t . CU/A \qquad (2-4)$$

(ب) بادخال عاعمل الفقد الكلى فى الاعتبار تصبح الاستضاءة

$$E = \phi_t . CV. LLF/A \qquad (3-4)$$

وفى حالة استخدام عدد N من المصابيح للحصول على فيض ضيائى كلى مقداره ϕ_t تصبح الاستضاءة

$$E = N \phi . CU. LLF/A \qquad (4-4)$$

حيث ϕ هو الفيض الضيائى لكل مصباح

(ج) معاملات الانعكاس الفعالة ٠ يستخدم الجدول (4 — 5) لتحويل معاملات انعكاس الحوائط والارضية والسقف الى معاملين :

الاول يسمى معامل انعكاس الفجوة السقفية الفعال

(Effective Ceiling Cavity Reflectance - ρ_{CC})

جدول 4 — 5 معاملات الانعكاس الفعالة

Per Cent Effective Ceiling or Floor Cavity Reflectances for Various Reflectance Combinations

Per Cent Base* Reflectance	70					30					10				
Per Cent Wall Reflectance	70	60	50	40	30	70	60	50	40	30	70	60	50	40	30
Cavity Ratio															
0.2	68	68	67	67	66	30	30	29	29	29	11	10	10	10	10
0.4	67	66	65	64	63	30	30	29	28	28	11	11	11	10	10
0.6	65	64	63	61	59	30	29	28	27	26	12	11	11	10	10
0.8	64	62	60	58	56	30	29	28	26	25	13	12	11	10	10
1.0	62	60	58	55	53	30	29	27	25	24	13	12	12	11	10
1.2	61	59	57	54	50	30	28	27	25	23	14	13	12	11	10
1.4	60	58	55	51	47	30	28	26	24	22	14	13	12	11	10
1.6	59	56	53	47	45	29	27	25	23	22	15	14	12	11	09
1.8	58	54	51	46	42	29	27	25	23	21	15	14	13	11	09
2.0	56	52	49	45	40	29	26	24	22	20	16	14	13	11	09
2.2	55	51	48	43	38	29	26	24	22	19	16	14	13	11	09
2.4	54	50	46	41	37	29	26	24	22	19	17	15	13	11	09
2.6	54	49	45	40	35	29	25	23	21	18	17	15	13	11	09
2.8	53	48	43	38	33	29	25	23	21	17	18	16	13	11	09
3.0	52	47	42	37	32	29	25	22	20	17	18	16	13	11	09
3.2	51	46	40	36	31	29	25	22	19	16	18	16	13	11	09
3.4	50	45	39	35	29	29	25	22	19	16	18	16	13	11	09
3.6	49	44	38	33	28	29	24	21	18	15	19	16	13	11	09
3.8	49	43	37	32	27	28	24	21	18	15	19	17	14	11	09
4.0	48	42	36	31	26	28	24	21	18	14	20	17	14	11	09
4.2	47	41	35	30	25	28	24	20	17	14	20	17	14	11	09
4.4	46	40	34	29	24	28	24	20	17	14	20	17	14	11	08
4.6	45	39	33	28	24	28	24	20	17	13	20	17	14	11	08
4.8	45	38	32	27	23	28	24	20	17	13	20	17	14	11	08
5.0	44	36	31	26	22	28	24	19	16	13	20	17	14	11	08
6.0	41	35	28	24	19	27	23	18	15	11	21	18	14	11	08
7.0	38	32	26	22	17	26	22	17	14	10	21	17	13	11	08
8.0	35	29	23	19	15	26	21	16	13	09	21	17	13	10	07
9.0	33	27	21	18	14	25	20	15	12	09	21	17	13	10	07
10.0	31	25	19	16	12	24	19	14	11	08	21	17	12	10	07

* Ceiling, floor, or floor of cavity.

جـدول 4 — 6 أ

Coefficients of Utilization, Wall Luminance Coefficients, Ceiling Cavity Luminance Coefficients,

Typical Luminaire	Maint. Cat.	Maximum S/MH Guide[d]	ρ_{CC}[a] →	70			50			30		
			ρ_W[b] →	50	30	10	50	30	10	50	30	10
			RCR[c] ↓	Coefficients of Utilization for 20 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (ρ_{FC} = 20)								
	V	1.5	0	.81	.81	.81	.69	.69	.69	.59	.59	.59
			1	.66	.62	.59	.56	.53	.50	.47	.45	.43
			2	.56	.50	.46	.47	.43	.39	.39	.36	.33
	35½% ↑		3	.48	.42	.37	.41	.36	.31	.34	.30	.26
			4	.42	.36	.30	.36	.30	.26	.30	.26	.22
	45% ↓		5	.37	.30	.25	.32	.26	.22	.26	.22	.19
			6	.33	.26	.21	.28	.23	.19	.23	.19	.16
			7	.29	.23	.18	.25	.20	.16	.21	.16	.13
			8	.27	.20	.16	.23	.17	.14	.19	.15	.12
			9	.24	.18	.14	.20	.15	.12	.17	.13	.10
			10	.22	.16	.12	.19	.14	.10	.16	.12	.09
	IV	1.3	0	.97	.97	.97	.92	.92	.92	.88	.88	.88
			1	.86	.83	.81	.83	.80	.78	.79	.78	.76
	0% ↑		2	.76	.72	.67	.73	.69	.66	.71	.67	.64
			3	.67	.61	.57	.65	.60	.56	.63	.58	.55
			4	.60	.53	.48	.58	.52	.48	.56	.51	.47
	83½% ↓		5	.53	.46	.41	.51	.45	.41	.50	.44	.40
			6	.47	.40	.35	.46	.39	.35	.44	.39	.34
			7	.42	.35	.30	.41	.34	.30	.39	.34	.30
			8	.38	.31	.26	.37	.30	.26	.36	.30	.26
			9	.34	.27	.23	.33	.27	.23	.32	.27	.23
			10	.31	.24	.20	.30	.24	.20	.29	.24	.20
	V	1.3	0	.85	.85	.85	.77	.77	.77	.70	.70	.70
			1	.74	.72	.69	.68	.66	.64	.62	.60	.58
			2	.66	.62	.58	.61	.57	.54	.56	.53	.50
	18½% ↑		3	.60	.55	.50	.55	.51	.47	.50	.47	.44
			4	.54	.49	.44	.50	.45	.42	.46	.42	.39
			5	.49	.43	.39	.45	.41	.37	.42	.38	.35
	60½% ↓		6	.45	.39	.35	.42	.37	.33	.39	.35	.31
			7	.41	.35	.31	.38	.33	.29	.35	.31	.28
			8	.37	.32	.28	.35	.30	.26	.32	.28	.25
			9	.34	.29	.25	.32	.27	.24	.30	.26	.23
			10	.31	.26	.22	.29	.25	.21	.27	.23	.20

(Column header "Typical Distribution and Per Cent Lamp Lumens" spans Maint. Cat. and Maximum S/MH Guide.)

[a] ρ_{CC} = per cent effective ceiling cavity reflectance.
[b] ρ_W = per cent wall reflectance.
[c] RCR = Room Cavity Ratio.
[d] Maximum *S/MH* guide—ratio of maximum luminaire spacing to mounting or ceiling height above work-plane.

جدول 4 — 6 ب

Typical Luminaire	Maint. Cat.	Maximum S/MH Guide[d]	ρcc[a] →	70			50			30		
			ρw[b] →	50	30	10	50	30	10	50	30	10
			RCR[c] ↓	Coefficients of Utilization for 20 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (ρ_{FC} = 20)								
	V	1.2	0	.70	.70	.70	.67	.67	.67	.64	.64	.64
			1	.62	.60	.58	.60	.58	.56	.57	.56	.54
			2	.55	.51	.48	.52	.49	.47	.50	.48	.46
	1% ↑		3	.49	.44	.41	.47	.43	.40	.45	.42	.39
			4	.43	.38	.35	.42	.37	.34	.40	.36	.33
	60½% ↓		5	.38	.33	.29	.37	.32	.29	.36	.32	.29
			6	.34	.29	.25	.33	.29	.25	.32	.28	.25
			7	.31	.26	.22	.30	.25	.22	.29	.25	.22
			8	.28	.23	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.19
			9	.25	.20	.17	.24	.20	.17	.23	.19	.16
			10	.23	.18	.15	.22	.18	.15	.21	.17	.15
	IV	1.0	0	.58	.58	.58	.55	.55	.55	.53	.53	.53
			1	.52	.51	.49	.50	.49	.48	.48	.47	.46
	0% ↑		2	.47	.44	.42	.45	.43	.41	.44	.42	.40
			3	.42	.39	.37	.41	.38	.36	.40	.37	.36
			4	.38	.35	.32	.37	.34	.32	.36	.33	.31
	50% ↓		5	.35	.31	.28	.34	.30	.28	.33	.30	.28
			6	.32	.28	.25	.31	.27	.25	.30	.27	.25
			7	.29	.25	.22	.28	.25	.22	.27	.24	.22
			8	.26	.22	.20	.25	.22	.20	.25	.22	.19
			9	.24	.20	.17	.23	.20	.17	.23	.19	.17
			10	.22	.18	.16	.21	.18	.16	.21	.18	.15
	ρcc from below ~60%		1	.71	.68	.66	.67	.66	.65	.65	.64	.62
			2	.63	.60	.57	.61	.58	.55	.59	.56	.54
			3	.57	.53	.49	.55	.52	.48	.54	.50	.47
			4	.52	.47	.43	.50	.45	.42	.48	.44	.42
			5	.46	.41	.37	.44	.40	.37	.43	.40	.36
			6	.42	.37	.33	.41	.36	.32	.40	.35	.32
			7	.38	.32	.29	.37	.31	.28	.36	.31	.28
			8	.34	.28	.25	.33	.28	.25	.32	.28	.25
			9	.30	.25	.22	.30	.25	.21	.29	.25	.21
			10	.27	.23	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.19

[a] ρcc = per cent effective ceiling cavity reflectance.
[b] ρw = per cent wall reflectance.
[c] RCR = Room Cavity Ratio.
[d] Maximum S/MH guide—ratio of maximum luminaire spacing to mounting or ceiling height above work-plane.

جـدول 4 — 6 جـ

Typical Luminaire	Typical Distribution and Per Cent Lamp Lumens: Maint. Cat.	Maximum S/MH Guide[d]	ρ_{CC}[a] → / ρ_W[b] → / RCR[c] ↓	70 / 50	70 / 30	70 / 10	50 / 50	50 / 30	50 / 10	30 / 50	30 / 30	30 / 10
				Coefficients of Utilization for 20 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (ρ_{FC} = 20)								
	IV	0.8	0	1.16	1.16	1.16	1.11	1.11	1.11	1.06	1.06	1.06
			1	1.07	1.05	1.02	1.03	1.01	.99	.99	.98	.96
	0% ↑		2	.99	.95	.92	.96	.93	.90	.93	.90	.88
			3	.92	.87	.83	.89	.85	.81	.87	.83	.80
			4	.85	.80	.75	.83	.78	.75	.81	.77	.74
	100% ↓		5	.79	.73	.69	.77	.72	.68	.76	.71	.67
			6	.73	.67	.63	.72	.66	.62	.70	.66	.62
			7	.68	.62	.57	.67	.61	.57	.65	.60	.56
			8	.63	.57	.52	.62	.56	.52	.61	.56	.52
			9	.59	.52	.48	.58	.52	.48	.57	.51	.48
			10	.55	.48	.44	.54	.48	.44	.53	.48	.44
	III	0.7	0	.90	.90	.90	.86	.86	.86	.82	.82	.82
			1	.85	.83	.82	.81	.80	.79	.78	.77	.76
			2	.80	.77	.75	.77	.75	.73	.75	.73	.72
	1½% ↑		3	.76	.72	.70	.73	.71	.69	.71	.69	.67
			4	.72	.68	.65	.70	.67	.64	.68	.66	.64
			5	.68	.64	.61	.66	.63	.61	.65	.62	.60
	77% ↓		6	.64	.61	.58	.63	.60	.57	.62	.59	.57
			7	.61	.57	.54	.60	.56	.54	.59	.56	.53
			8	.58	.54	.51	.57	.53	.51	.56	.53	.51
			9	.55	.51	.48	.54	.50	.48	.53	.50	.48
			10	.52	.48	.46	.52	.48	.46	.51	.48	.45
	II	1.3	0	.94	.94	.94	.84	.84	.84	.76	.76	.76
			1	.84	.81	.78	.76	.74	.72	.69	.67	.66
			2	.74	.70	.66	.68	.64	.61	.62	.59	.56
	22½% ↑		3	.66	.61	.56	.61	.56	.53	.56	.52	.49
			4	.60	.53	.49	.55	.50	.46	.50	.46	.43
			5	.53	.47	.42	.49	.44	.39	.45	.41	.37
	65% ↓		6	.48	.41	.37	.44	.39	.35	.41	.36	.33
			7	.43	.37	.32	.40	.34	.30	.37	.32	.29
			8	.39	.32	.28	.36	.30	.27	.33	.28	.25
			9	.35	.29	.24	.32	.27	.23	.30	.25	.22
			10	.32	.26	.22	.29	.24	.20	.27	.23	.19

[a] ρ_{CC} = per cent effective ceiling cavity reflectance.
[b] ρ_W = per cent wall reflectance.
[c] RCR = Room Cavity Ratio.
[d] Maximum *S/MH* guide—ratio of maximum luminaire spacing to mounting or ceiling height above work-plane.

جـدول 4 — 6 د

Typical Luminaire	Typical Distribution and Per Cent Lamp Lumens: Maint. Cat.	Maximum S/MH Guide[d]	ρcc[a] → / ρw[b] → / RCR[c] ↓	70 / 50	70 / 30	70 / 10	50 / 50	50 / 30	50 / 10	30 / 50	30 / 30	30 / 10
				Coefficients of Utilization for 20 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (ρ_{FC} = 20)								
	VI	1.4/1.2	0	.84	.84	.84	.73	.73	.73	.63	.63	.63
			1	.75	.73	.70	.66	.64	.62	.57	.56	.54
			2	.67	.63	.59	.59	.56	.53	.51	.49	.47
			3	.60	.55	.50	.53	.49	.45	.46	.43	.41
	33% ↑		4	.53	.48	.43	.47	.43	.39	.41	.38	.35
			5	.48	.42	.37	.42	.38	.34	.37	.34	.31
	50% ↓		6	.43	.37	.33	.38	.33	.30	.34	.30	.27
			7	.39	.33	.28	.34	.30	.26	.30	.27	.24
			8	.35	.29	.25	.31	.26	.23	.27	.24	.21
			9	.31	.26	.22	.28	.23	.20	.25	.21	.18
			10	.28	.23	.19	.25	.21	.18	.23	.19	.16
	II	1.0	0	.85	.85	.85	.76	.76	.76	.68	.68	.68
			1	.77	.74	.72	.69	.67	.66	.62	.61	.60
			2	.69	.65	.62	.62	.59	.57	.56	.54	.52
	23½% ↑		3	.62	.57	.53	.56	.52	.49	.51	.48	.46
			4	.56	.50	.46	.51	.46	.43	.46	.43	.40
			5	.50	.44	.40	.46	.41	.38	.42	.38	.35
	57% ↓		6	.45	.39	.35	.41	.37	.33	.38	.34	.31
			7	.41	.35	.31	.38	.33	.29	.34	.30	.27
			8	.37	.31	.27	.34	.29	.26	.31	.27	.24
			9	.33	.28	.24	.31	.26	.22	.28	.24	.21
			10	.30	.25	.21	.28	.23	.20	.26	.22	.19
	IV	1.0	0	.53	.53	.53	.51	.51	.51	.48	.48	.48
			1	.48	.47	.46	.46	.45	.44	.45	.44	.43
			2	.43	.41	.39	.42	.40	.38	.40	.39	.37
	0% ↑		3	.39	.36	.34	.38	.36	.34	.37	.35	.33
			4	.36	.32	.30	.35	.32	.30	.34	.31	.29
	46% ↓		5	.32	.29	.26	.31	.28	.26	.30	.28	.26
			6	.29	.26	.24	.29	.26	.23	.28	.25	.23
			7	.27	.23	.21	.26	.23	.21	.26	.23	.21
			8	.24	.21	.19	.24	.21	.19	.23	.21	.18
			9	.22	.19	.17	.22	.19	.17	.21	.18	.16
			10	.20	.17	.15	.20	.17	.15	.20	.17	.15

[a] ρcc = per cent effective ceiling cavity reflectance

[b] ρw = per cent wall reflectance.

[c] RCR = Room Cavity Ratio.

[d] Maximum *S/MH* guide--ratio of maximum luminaire spacing to mounting or ceiling height above work-plane.

والثانى يسمى معامل انعكاس الفجوة الارضية الفعال

(Effective Floor Cavity Reflectance - ρ_{FC})

فمثلا اذا كانت النسبة الفجوية الغرفة RCR هى 0.4 ومعامل انعكاس الارضية 70% ومعامل انعكاس الحوائط 50% ومعامل انعكاس السقف 30% فان الجدول (4 — 5) يعطى

$$\rho_{CC} = 0.65 \quad \text{و} \quad \rho_{FC} = 0.29$$

(د) معامل الانتفاع للمصابيح

كمية الطاقة الضوئية الممتصة فى ناشر الضوء المستخدم تؤخذ فى الاعتبار ضمنيا عند استخدام الجداول (4 — 6) لايجاد معامل الانتفاع • ويلاحظ أنه فى هذه الجداول يعتبر معامل انعكاس الارضية الفعال ρ_{FC} هـــو 20% فقط • ويلاحظ أيضا أنه لاستخدام الجداول (4 — 6) يجب أولا اختيـار نوع الناشر المستخدم ثم النسبة الفجوية للغرفة RCR ثم معامل انعكاس الفجـــوة الفعالة لحجمية السقف ومعامل انعكاس الحوائط ρ_W •

الخطوة السابعة عشر :

حيث أن الاستضاءة المحسوبة من المعادلة (4 — 4) تمثل القيمة المتوسطة للاستضاءة داخل الغرفة يجب عند توزيع الثريات داخل الغرفة أن نأخـــذ فى الاعتبار انتظام الاضاءة فى الاماكن المختلفة بداخلها وذلك بالاضافـة للشـكل الجمالى لها • ويجب أن لا تقل الاستضاءة عند أى نقطة عن القيمة المحددة عند بداية التصميم • ويعتبر انتظام الاضاءة مقبول اذا كانت الاستضاءة عند أى نقطة داخل الغرفة لا تزيد ولا تقل عن 15% من قيمة التصميم • واذا كانت الاستضاءة ضعيفة عند ملتقى الحوائط بالسقف فيمكن تفادى ذلك بوضع عـدد أكبر من المصابيح فى الثريات القريبة من الحوائط •

الخطوة الثامنة عشر :

فى هذه الخطوة الاخيرة يجب مراجعة صحة التصميم من حيث موائمـــة الاضاءة داخل الغرفة للغرض الذى تستخدم فيه ويتم ذلك عن طريق القيـاس

العملى لمستويات الاضاءة داخل الغرفة ومراجعة العوامل التى استخدمت أثناء التصميم ٠

وحتى تتضح طريقة تصميم الاضاءة الداخلية سنقدم فيما يلى مجموعة من الامثلة ٠ ويمكن لحل هذه الامثلة استخدام لوحة التصميم التالية ٠ ويجب استخدام لوحة تصميم واحدة لكل غرفة أو صالة أو حيز يجرى تصميم الاضاءة الداخلية له ٠

لوحة تصميم اضاءة داخلية

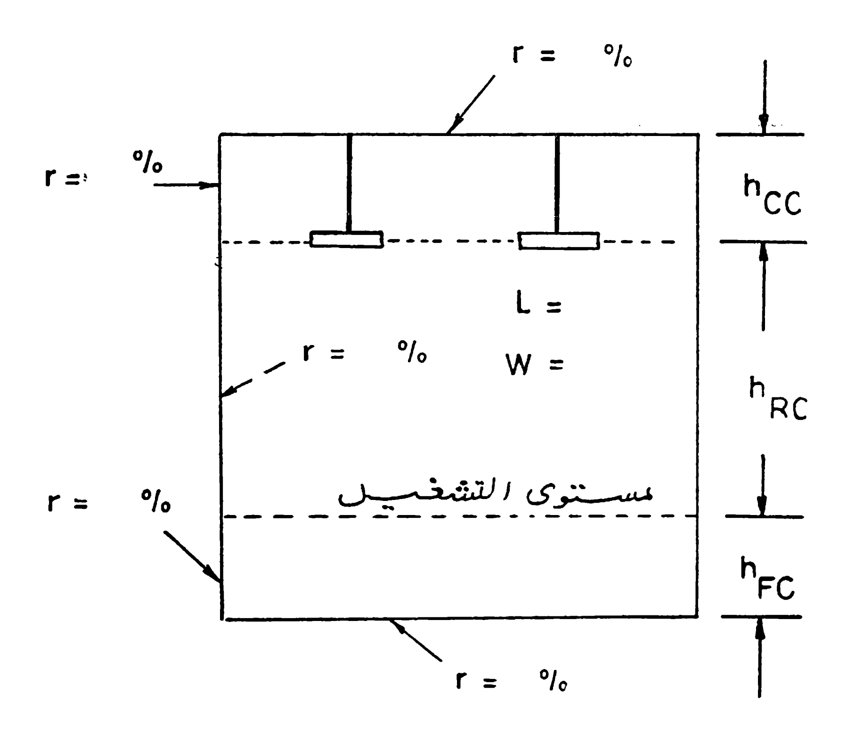
اسم المشروع :

مستوى الاستضاءة الدائمة : لوكس

نوع المصابيح :

نوع ناشر الضوء المستخدم :

عدد المصابيح داخل الناشر الواحد :



(1) النسبة الفجوية للغرفة $RCR =$

(2) النسبة الفجوية للسقف $CCR =$

(3) النسبة الفجوية للارضية $FCR =$

(4) أوجد معامل انعكاس السقف من الجدول (4 — 5) $= \rho_{CC}$

(5) أوجد معامل انعكاس الارضية من جدول (4 — 5) $= \rho_{FC}$

(6) أوجد معامل الاستخدام CU من جدول (4 — 6) = CU

(7) اختار عوامل الفقد المناسبة

عامل اتساع الغرفة = عامل انخفاض الفيض الضيائى =

عامل الاحتراق للمصابيح = عامل حرارة المحيط =

عامل انخفاض الجهد = عامل اتساخ سطح الناشر =

(8) احسب حاصل ضرب العوامل السابقة لتعين معامل الفقد الكلى :

LLF =

(9) احسب عدد المصابيح من العلاقة

$$\text{عدد المصابيح} = \frac{\text{شدة الاستضاءة} \times \text{مساحة الحيز}}{\text{الفيض الضيائى لكل مصباح} \times CV \times LLF}$$

التــاريخ : المصمم :

مثـــــــال (1)

المطلوب تصميم اضاءة مناسبة لغرفة تستخدم كمكتب فحص وعلاج طولها 10.5 متر وعرضها 5 متر وارتفاعها 3 متر • ومعاملات انعكاس الحـوائط والسقف والارضية هى 50% و 40% و 30% على التوالى •

من الجدول (4 — أ) نجد أن مستوى الاستضاءة المناسب هـــو 500 لوكس وباختيار مصابيح فلورية مناسبة بقدرة 65 وات للمصباح الواحـد• ناشر الضوء المناسب (من جدول 4 — 6 ج) هـو VI وفيه توضع ثلاثـة مصابيح أو أربعة ويمكن افتراض أن جو الغرفة من الدرجة الاولى أو « نظيف جدا» (V.C) وانه من المتوقع أن يتم تنظيف السقف والحوائط والارضية كـل اثنتا عشر شهرا • وعلى ذلك يكون عامل الفقد نتيجة للاتساخ هـــو 7% كما هو واضح من المنحنى أعلى الجدول (4 — 4) •

أ) ارتفاع المصابيح عن مستوى التشغيل

$$h = 3 - 0.85 = 2.15 \text{ m}$$

ب) النسبة الفجوية للغرفة

$$RCR = 5 \times 2.15\ (10.5 + 5) / (10.5 \times 5) = 3.174$$

ومما سبق نجد أن

$$RSDD = 0.96$$

على أساس أن الاضاءة شبه مباشرة (العمود الثانى من الجدول (4 — 4).

ج) النسبة الفجوية السقفية :

اذا فرضنا أن الثريات المستخدمة ملاصقة للسقف ففى هذه الحالة ليس هناك فجوة سقفية ويكون معامل انعكاس السقف $\rho_{CC} = 0.40$

د) النسبة الفجوية الارضية :

$$FCR = 5 \times 0.85\ (10.5 + 5) / (10.5 \times 5) = 1.25$$

ومن الجدول (4 — 5) نجد أن معامل انعكاس الارضية المكافىء $\rho_{FC} = 0.27$

هـ) يمكن الحصول على معامل الانتفاع CU باستخدام الجدول(4 — 6ج) بمعرفة ρ_{CC} ومعامل انعكاس الحوائط $\rho_W = 0.50$

من الجداول نجد أن CU تقع بين 0.53 و 0.46 الكمية ألاولى اذا كانت $\rho_{CC} = 0.30$ والثانية $\rho_{CC} = 0.5$ وعلى ذلك فالقيمة المتوسطة هى

$$CU = (0.46 + 0.53) / 2 = 0.50$$

ويلاحظ أن الجداول (4 — 6) معدة لمعامل انعكاس أرضية مقـــداره 0.20 وحيث أن معامل انعكاس الارضية فى هذا المثال هو 0.27 نجـد أن الاضاءة الناتجة ستكون أعلى من 500 لوكس بقليل ٠

و) اختيار عوامل فقد مناسبة :

نجد من الشكل (4 — 7) وباستخدام المنحنيات VI أن LDD = 0.93 ويمكن تقدير باقى العوامل الخمسة المذكرة فى لوحة التصميم

عامل اتساخ الغرفة	0.96 =
عامل انخفاض الفيض الضيائى	0.90 =
عامل الاحتراق	0.80 =
عامل اتساخ المصابيح	0.90 =
عامل انخفاض الجهد	0.80 =

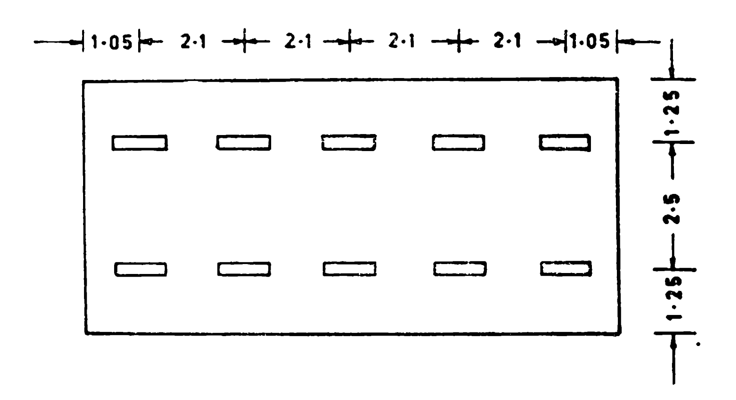
فيكون عامل الفقد الكلى هو

$$LLF = 0.93 \times 0.96 \times 0.9 \times 0.8 \times 0.9 \times 0.8$$
$$= 0.46$$

ز) عدد المصابيح المطلوبة

$$N = 500 \times 10.5 \times 5 / (0.46 \times 0.50 \times 60 \times 65)$$
$$= 29.3$$

يستخدم 30 مصباحا توضع ثلاثة مصابيح داخل كل ثريا وتوزع الثريات كما هو مبين بالشكل (4 — 8)



شكل 4 — 8

وباعتبار أن القدرة التأثيرية للمصباح الفلورى هى 60 لومن/وات نجـــد أن الاستضاءة هى

$$E = 30 \times 0.46 \times 0.5 \times 60 \times 65 / (10.5 \times 5)$$
$$= 512.5 \quad \text{lux}$$

والحمل الكهربى المطلوب هو

$$30 \times 65 = 1950 \quad \text{watts}$$

مثـــــال (2)

يراد تصميم الاضاءة لفصل دراسى طوله 9 متر وعرضه 6.5 مـــتر وارتفـــاعه 3.25 متر · معاملات انعكاس السقف والحوائط والارضية هى 0.4 و 0.3 و 0.2 على التوالى ·

أ) من الجدول (4 — 1) يتضح أن مستوى الاستضاءة المناسب هو 1000 لوكس · يمكننا فى هذه الحالة اختيار مصابيح مناسبة من النـــوع الفلورى بقـــدرة 65 وات للمصباح الواحد · ناشر الضوء من الجدول (4 — 6 د) هـــو V ويمكن استخدام أربعة مصابيح داخل الناشر الواحد · افترض أن الغرفة من الدرجة الثانية من ناحية النظافة (C) وأنه من المتوقع أن يتم تنظيف الحوائط

والسقف والارضية فى اجازات الدراسة (نصف العام وبداية العام) أى كل ستة أشهر • المعامل المئوى المتوقع للانساخ هو 8%

ب) ارتفاع الضوء عن مستوى التشغيل

$$h = 3.25 - 0.85 = 2.35 \quad m$$

ج) النسبة الفجوية للغرفة

$$RCR = 5 \times 2.35 (9 + 6.5) / (9 \times 6.5) = 3.1$$

د) مما سبق نجد أن $RSDD = 0.98$

على أساس أن الاضاءة مباشرة (العمود الاول من الجدول 4 — 4)

هـ) معامل انعكاس السقف $\rho_{CC} = 0.40$

و) النسبة الفجوية السقفية

$$CCR = 5 \times 0.85 (9 + 6.5) / (9 \times 6.5) = 1.1$$

يعطى الجدول (4 — 5) $\rho_{FC} = 0.235$ اذا كان معامل انعكاس الارضية 0.30 ويعطى $\rho_{FC} = 0.10$ اذا كان معامل انعكاس الارضية 0.10 وحيث أن معامل انعكاس الارضية هو 0.20 فنستخدم القيمة المتوسطة

$$\rho_{FC} = (0.1 + 0.235) / 2 = 0.17$$

ز) يمكن الحصول على معامل الانتفاع CU باستخدام الجدول(4 — 6 د) فنجد أن قيمة CU تقع بين 0.42 و 0.43

$$CU = 0.415$$

ويلاحظ أن عامل انعكاس الارضية ρ_{FC} هو أصغر من القيمة المستخدمة فى الجدول (4 — 6) وبناء عليه ستكون الاضاءة أقل بقليل من 1000 لـوكس ويمكن تعويض ذلك عند حساب معاملات الفقد

س) من الشكل (4 — 7) باستخدام المنحنيات V نجد أن LDD = 0.92 ويمكن تقدير باقى العوامل الخمسة الخاصة بالفقد فى الاضاءة حسب معطيات المسألة

عامل اتساخ الغرفة	0.9
عامل انخفاض الفيض الضيائى	1.0
عامل الاحتراق	0.8
عامل إتساخ المصابيح	0.8
عامل انخفاض الجهد	0.8

$$\mathbf{LLF} = 0.92 \times 0.9 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.8 = 0.424$$

ويكون عدد المصابيح المطلوبة

$$N = 1000 \times 9 \times 6.5 / (0.424 \times 0.42 \times 60 \times 65)$$

$$= 84$$

لذلك نستخدم 88 مصباحا توضع كل أربع منها فى ثريا فتكون عدد الثريات المستخدمة 22 وتوزع كما هو مبين بالشكل (4 — 9).

وباعتبار أن القدرة التأثيرية الضيائية للمصباح الفلورى هى 60 لومن/ وات نجد أن الاستضاءة هى

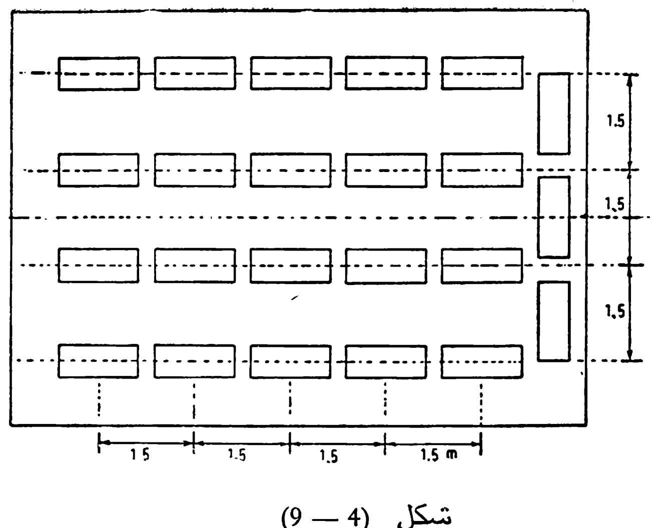
$$E = 88 \times 0.424 \times 0.42 \times 65 \times 60 / (9 \times 6.5)$$
$$= 1045 \text{ lux}$$

والحمل الكهربى المطلوب

$$88 \times 65 = 5720 \quad \text{watts.}$$

مثـــال (3)

يراد تصميم الاضاءة لغرفة سكرتارية طولها 7 متر وعرضها 5 متر وارتفاعها 5 متر · معاملات انعكاس السقف والحوائط والارضية هى 70% و 50% و 30% على التوالى ·



شكل (4 — 9)

أ) من الجدول (4 — 1) يتضح أن مستوى الاستضاءة المناسب هو 400 لوكش ويمكن اختيار ناشر ضوء على شكل كرة زجاجية (جدول 4 — 6 أ) وبه مصباح واحد ذات قدرة 100 وات • هذا الناشر هو من الدرجة V كما هو مبين بالجدول (4 — 6) ويمكن افتراض أن الغرفة «نظيفة جدا» (VC) وانه من المتوقع أن يتم تنظيف الحوائط والسقف والارضية كل 12 شهر وبناء عليه يكون المعامل المئوى المتوقع لمقدار فقد الاتساخ هو 7% كما هو واضح بالجدول (4 — 4) •

اذا اعتبرنا أن الثريات ستكون مدلاة أسفل السقف بحوالى 0.75 متر فيكون ارتفاع مصدر الضوء عن مستوى التشغيل

$$h = 5 - 0.85 - 0.75 = 3.4 \text{ m}$$

على أساس أن مستوى التشغيل يرتفع 0.85 متر عن أرضية الغرفة •

ب) النسبة الفجوية للغرفة

$$RCR = 5 \times 3.4 (7 + 5) / (7 \times 5) = 5.8$$

وبناء على ما سبق نجد أن

$$RSDD = 0.93$$

على أساس أن الاضاءة تناثرية (العمود الثالث من الجدول 4 — 4)

ج) النسبة الفجوية للسقف

$$CCR = 5 \times 0.75 (7 + 5) / (7 \times 5) = 1.3$$

وباستخدام معامل انعكاس السقف 0.7 والحوائط 0.5 يمكن ايجاد معامل الانعكاس المكافىء $\rho_{CC} = 0.56$

د) النسبة الفجوية للارضية

$$FCR = 5 \times 0.85 (7 + 5) / (7 \times 5) = 1.5$$

باستخدام معامل انعكاس الارضية 0.3 ومعامل انعكاس الحوائط 0.5 يمكن ايجاد معامل انعكاس الارضية المكافىء من جدول (4 — 5) $\rho_{FC} = 0.25$

هـ) معامل الانتفاع CU يمكن الحصول عليه من الجدول (4 — 6 أ)

$$CU = 0.28$$

و) من الشكل (4 — 7) يمكن تعيين $LDD = 0.93$

ويمكن تقدير باقى العوامل الخاصة بالفقد كما يأتى

عامل اتساخ الغرفة = 0.96

عامل انخفاض الفيض الضيائى = 0.95

عامل الاحتراق = 0.80

عامل اتساخ المصابيح = 0.90

عامل انخفاض الجهد = 0.80

ويكون عامل الفقد الكلى هو

$$LLF = 0.93 \times 0.96 \times 0.95 \times 0.8 \times 0.9 \times 0.8 = 0.483$$

ز) عدد المصابيح المطلوبة للتصميم

$$N = 400 \times 7 \times 5 / (0.28 \times 0.483 \times 100 \times 15)$$
$$= 69$$

وذلك باستخدام مصابيح متوهجة ذات قدرة تأثيرية ضيائية 15 لـومن/وات ويلاحظ أن عدد المصابيح كبير جدا لذلك نلجأ الى تصميم آخر باختيـار مصابيح فورية بدلا من المصابيح المتوهجة وقـــدرة كل مصباح هى 65 وات والقدرة التأثيرية الضيائية له 60 لومن/وات

نلاحظ أن المعامل المئوى لمقدار الاتساخ مازال 7%.

أ) اذا فرضنا أن الثريات ستكون مدلاة لاسفل السقف مسافة 1.5 متر يكون ارتفاع مصدر الضوء عن مستوى التشغيل هو

$$h = 5 - 0.85 - 1.5 = 2.65 \quad m$$

ب) النسبة الفجوية للغرفة

$$RCR = 5 \times 2.65 (7 + 5) / (7 \times 5) = 4.54$$

ويكـــون

$$RSDD = 0.94$$

على أساس أن الاضاءة مباشرة ·

ج) النسبة الفجوية للسقف

$$CCR = 5 \times 1.5 (7 + 5) / (7 \times 5) = 2.57$$

وباستخدام معامل انعكاس كلا من السقف والحوائط يمكن ايجـاد معامل الانعكاس المكافىء للسقف

$$\rho_{CC} = 0.45$$

د) النسبة الفجوية للارضية

$$FCR = 5 \times 0.85\,(7 + 5) / \;(7 \times 5) = 1.5$$

ويكون معامل انعكاس الارضية المكافى هو

$$\rho_{FC} = 0.25$$

هـ) معامل الانتفاع يمكن الحصول عليه من الجدول (4 — 6 أ)

$$CU = 0.425$$

و) من شكل (4 — 8) يمكن تعيين

$$LDD = 0.93$$

ويمكن تقدير باقى العوامل الخاصة بالفقد كما يأتى

عامل اتساخ الغرفة = 0.95
عامل انخفاض الفيض الضيائى = 0.95
عامل الاحتراق = 0.85
عامل اتساخ المصابيح = 0.90
عامل انخفاض الجهد = 0.90

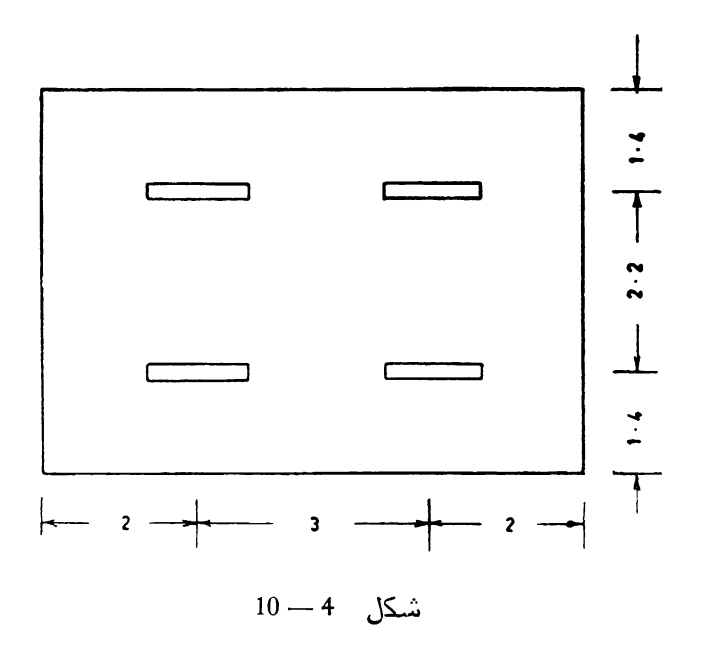
$$LLF = 0.93 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.85 \times 0.9 \times 0.9 = 0.578$$

ز) عدد المصابيح المستخدمة

$$N = 400 \times 7 \times 5 / (0.425 \times 0.578 \times 60 \times 65)$$
$$= 14.6$$

أى يمكن استخدام 16 مصباحا توضع كل أربعة منها فى ثريا فتكون عدد الثريات المستخدمة أربع موزعة داخل الغرفة كما هو مبين بالشكل (4 — 10) وتكون الاستضاءة الناتجة

$$E = 16 \times 0.425 \times 0.578 \times 60 \times 65 / (7 \times 5)$$
$$= 438 \text{ lux}$$



شكل 4 — 10

والحمل الكهربى المطلوب هو

$$16 \times 65 = 1040 \quad \text{watts.}$$

ويلاحظ أنه باعادة التصميم قد توصلنا الى استخدام عدد أقل من المصابيح وكذلك طاقة كهربية أقل ·

الفصل الخامس

أضــــاءة الشــــوارع

1.5 مقـــــدمة

استخدمت اضاءة الشوارع فى الماضى بهدف الاقلال من الجرائم والسرقات أما الاضاءة الحديثة للشوارع فهى تهدف أساسا الى تجنب حوادث السيارات أثناء الليل حيث تكون الرؤية أصعب بكثير من الرؤية أثناء النهــــار • ففى عصرنا هذا هناك متطلبات كثيرة على القوى الادراكية للسائق أثنـــاء قيادته للسيارة على الطريق : فعليه أن يتبع مجرى الشارع وأن يحافظ على موقع السيارة فى الحارة التى يتبعها وأن يلاحظ ويترقب العلامات والارشادات وأن يستجيب للعلامات التحذيرية والارشادات والتقاطعات • وتزداد احتياطـــات السائق كلما زادت سرعة السيارة التى يقودها • ويستمد السائق جميع هــذه المتطلبات من جهاز الرؤية لديه ولا يقصد بجهـــاز الرؤية العين فحسب وانما العين وجميع الاعصاب البصرية الواصلة الى المخ •

وقد تصل الاستضاءة على سطح الشارع أثناء النهار عندما تكون الشمس ساطعة الى 10^5 لوكس فى حين أنه أثناء الليل تصل استضاءة الشارع الى حـــوالى 10 لـــوكس فقط مما يجعل مهمـة الســـائق أصعب بكثـــير أثناء الليل حيث عليه أن يتأقلم على اضاءة قد تصل الى 0.01% من الاضاءة التى تعودهـــا أثناء النهار • ونظرا للقـــدرة التهايئية للعين ، فان حساسية الابصار تزداد بانخفاض مستوى الضوء • والعــلاقة بين النصـــوع الظاهرى للشارع والنصوع الفعلى (المقاس) هى علاقة لوغاريتمية بحيث يكـون تقـدير السائق لنصوع شارع به اضاءة جيدة ليلا هو ربع النصوع أثناء النهار •ولكن الانخفاض فى مستوى الضوء يصحبه تغييرات فى الخصائص الاخرى للرؤية أهمها خاصية ادراك التباين بين الاشياء • وتبلغ الحساسية لهـذا الادراك أثناء الليل عشر الحساسية أثناء النهار • كذلك فان الرؤية فى الليل تكون أبطأ

منها فى النهار أى أن الاشارة المرئية تحتاج الى وقت أطول لكى تصل من العين الى المخ وقد يكون الفارق فى الزمن 0.15 ثانية • ومعنى ذلك أنه عند سرعة 90 كم/س يكون الفارق فى المسافة التى عندها يرى السائق الشىء فى النهار وفى الليل هو 4 أمتار • وأهم مصدر ازعاج للسائق ليلا هو الاضاءة المبهرة من كشافات السيارات القادمة من الاتجاه المعاكس للطريق وأيضا المنابع الضوئية المبهرة التى قد توجد على جانبى الطريق بما فى ذلك فوانيس اضاءة الشوارع • وجميع هذه المصادر الشاردة للضوء تؤدى الى انخفاض اضافى فى ادراك التباين بين الاشياء •

ورغم كثرة الاسباب التى تؤدى الى انخفاض الرؤية ليلا الا أنه يكاد يكون متفقا عليه أن أهم هذه الاسباب هو الفقد فى ادراك التباين ، ولذلك فالزيادة من هذا الادراك هو عنصر أساسى فى تصميم اضاءة الشوارع وذلك عن طريق الحصول على أكبر قيمة ممكنة لنصوع سطح الشارع مع أقل بهر من الفوانيس نفسها بحيث تبدو الاشياء للسائق داكنة وبخطوطها الخارجية فقط (silhouette).

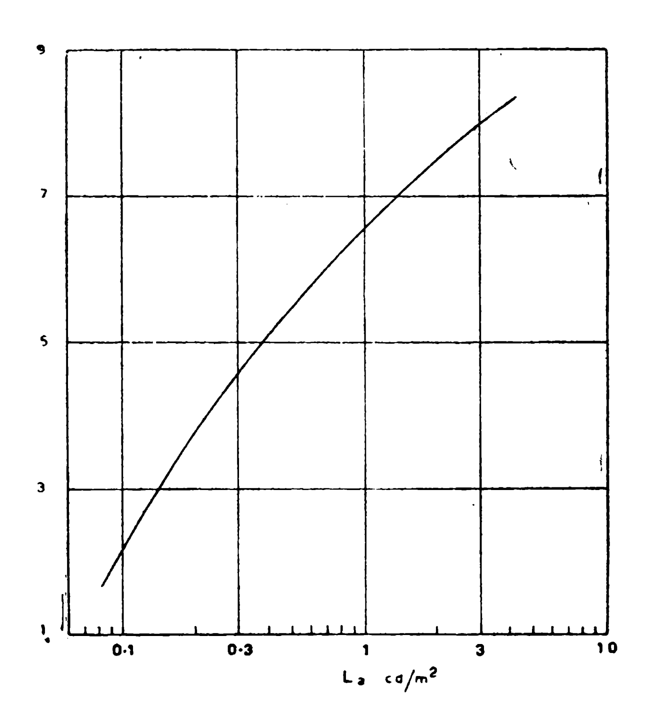
2.5 مستوى النصوع

يؤثر مستوى نصوع سطح الشارع على حساسية عين السائق من حيث ادراك التباين • وقد أجريت عدة تجارب طلب فيها من عدد من الافراد تقييم مدى كفاية مستويات الاضاءة بالنسبة للطرق الهامة وذلك على أساس نظام النقط التالى :

1	ردىء
3	غير كاف
5	مقبول
7	جيد
9	ممتاز

ويبين الشكل (5 — 1) العلاقة بين متوسط تقدير الافراد والقيمة المتوسطة لنصوع سطح الشارع • ومن الواضح أنه للحصول على تقدير «جيد» يجب ألا يقل النصوع عن 1.5 كن/م^{2} • وفى سلسلة أخرى من التجارب أجريت دراسة

احصائية لعدد قادة السيارات الذين يضيئون المصابيح الامامية عند الغسق على الطرق التى ليست بها اضاءة • وقد أظهرت النتائج أن 20% من القادة يستخدمون المصابيح الامامية عندما يكون النصوع 1 كن/م٢ ثم تزداد هذه النسبة مع انخفاض النصوع • أما فى الطرق المضاءة ليلا فوجد أن 80% من القادة لا يستخدمون المصابيح الامامية اذا كانت قيمة النصوع 2 كن/م٢ أو أكثر •



شكل 5 — 1. العلاقة بين متوسط تقدير الافراد لجودة النصوع والقيمة المتوسطة لنصوع سطح الشارع

1.2.5 انتظام النصوع

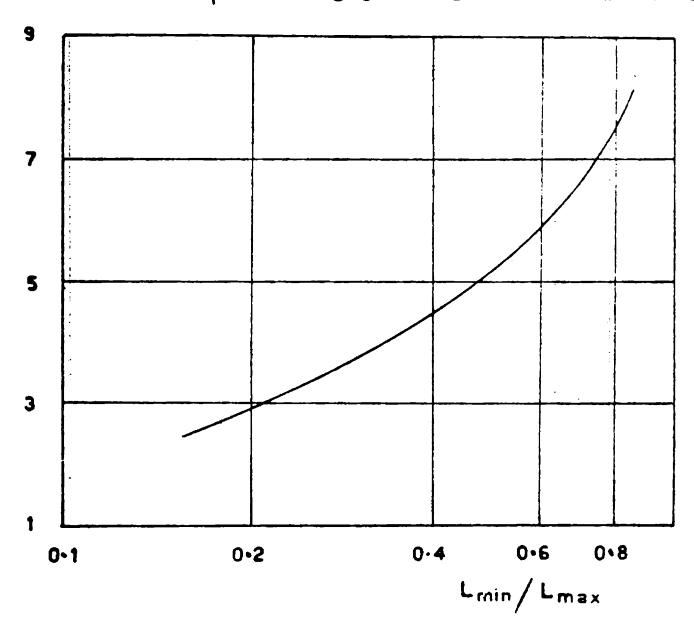
ان معيار الانتظام من حيث عول الادراك هو النسبة بين أدنى قيمة للنصوع (Lmin) داخل مساحة ما والقيمة المتوسطة للنصوع (La) داخل هذه المساحة وتعرف هذه النسبة بمعال الانتظام الاجمالى :

$$U_0 = Lmin/La$$

وقد وجد أن هذه النسبة يجب الا تقل ، فى أى حال من الاحوال ، عن 0.4 عند أى نقطة على الشارع ولكن حتى بهذه النسبة تبدو اضاءة الشارع مرتفعة وغير مريحة للعين • ولذلك تم تعريف معامل آخر للانتظام يأخذ فى الاعتبار راحة الرؤية وهو معامل الانتظام الطولى للنصوع

$$U_L = L_{min}/L_{max}$$

وهو النسبة بين أدنى وأقصى نصوع فى اتجاه خط المنتصف لكل حارة مرور • ويبين الشكل(5 — 2) العلاقة بين هذا المعامل والتقييم الشخصى للاضاءة فى الطرق الرئيسية • وتؤثر درجة انتظام النصوع على تصميم واقتصاديات الاضاءة حيث تعتمد على تباعد المصابيح (أى عددها) وعلى الخواص البصرية لناشر الضوء (الفانوس) المستخدم •



شكل 5 — 2. العلاقة بين تقدير الافراد لجودة انتظام الاضاءة وعامل الانتظام الطولى

3.5 البهر

بالنسبة للاضاءة الخارجية يوجد معياران للبهر : البهر النفسى (البسيكولوجى) أو البهر المزعج وهو يقدر بدلالة الارتياح البصرى ، والبهر

الفسيولوجى أو البهر المعوق وهو يقدر بدلالة الادراك البصرى • وقد أظهرت الابحاث أنه لا يوجد أى تدهور فى مستوى الادراك طالما أن البهر مقبول من حيث الارتياح البصرى •

1.3.5. البهر المزعج (Discomfort Glare).

لتقدير هذا النوع من البهر أجريت دراسة احصائية حيث طلب من عدد كبير من الاشخاص تقييم درجة انزعاج البهر باستخدام تسع نقاط كدليل للبهر كما هو مبين فى الجدول التالى :

درجة البهر	صفة البهر	التقدير
1	غير مطاق	ردىء
3	مزعج	غير مريح
5	مسموح	مقبول
7	مرضى	جيد
9	غير محسوس	ممتاز

والقيمة المتوسطة لدرجة البهر بالنسبة لاى مشروع اضائى هى مقياس للبهر المزعج لهذا المشروع والرمز المستخدم لدرجة البهر هو حرف G (glare mark). • وقد أظهرت نتائج الدراسة أن البهر المزعج فى الشوارع المضاءة يتأثر بالعناصر الاتية : (أنظر شكل 5 — 7)

- شدة الاضاءة I_1 على زاوية $\gamma = 80^0, C = 0^0$
- شدة الاضاءة I_2 على زاوية $\gamma = 88^0, C = 0^0$
- مساحة الفانوس المبتعثة للضوء (F) على زاوية 76^0 (شكل 5 — 3)
- متوسط النصوع على سطح الشارع (La)
- العلو بين مستوى العين والمصباح (h')
- عدد الفوانيس للكيلو متر الواحد (p)
- معامل ألوان (f)

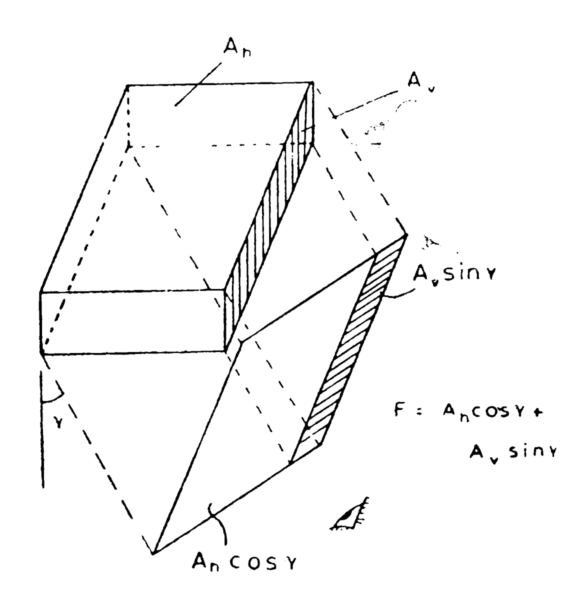
= 0.4 لمصباح الصوديوم ذات الضغط المنخفض

= 0.1 لمصباح الصوديوم ذات الضغط العالى

= -0.1 لمصباح الزئبق ذات الضغط العالى

= 0 لجميع المصابيح الاخرى

ويمكن تحديد درجة البهر G من المعـــادلة التالية (وهى صالحة اذا كان ارتفاع الفانوس يقل عن 20 متر) :



شكل 5 — 3

$$G = 13.84 - 3.31 \log I_1 + 1.3 [\log I_1/I_2]^{0.5} - 0.08 \log (I_1/I_2) +$$
$$1.29 \log F + 0.97 \log La + 4.41 \log h' - 1.46 \log p + f$$

2.3.5. البهر المعـوق (Disability Glare)

المعيار لهذا النوع من البهر هو ما يسمى بالمشرف التزايدى (Threshold Increment-TI) ويعرف كالاتى :

$$TI = 65\ Lv/La^{0.8}$$

حيث La هو متوسط النصوع على سطح الشارع و Lv هو النصوع الحـــاجب (veiling luminance). والنصوع الحاجب هو ذلك النصـــوع

الذى يضاف الى الصورة المكونة على شبكية العين فينخفض من تباينها وبالتالى من قدرة الادراك البصرى • وهذا التأثير الحاجب ينتج عن وجود منابع أو مساحات ناصعة فى مجال الابصار مما يؤدى الى انخفاض الرؤية • وبالنسبة للاضاءة الداخلية فان تأثير الضوء الشارد على العين ليس ذات أهمية • أما فى حالة اضاءة الشوارع (وفى بعض أنواع الاضاءة الصناعية) فان تأثير هـــذا الضوء يجب أن يؤخذ فى الاعتبار • وتأثير الضوء الشارد على العين هو اضافة نصوع حاجب الى نصوع صورة الشىء المرئى والى نصوع خلفية هذا الشىء •

وتعريف التباين هو

$$C = (Lb - Lo)/Lb$$

حيث Lb = نصوع الخلفية

Lo = نصوع الشىء المستهدف رؤيته

واذا أخذنا النصوع الحاجب فى الاعتبار نجد أن

$$C = \frac{(Lb + Lv) - (Lo + Lv)}{Lb + Lv}$$

$$= (Lb - Lo)/(Lb + Lv)$$

ومن الواضح أن النصوع الحاجب يقلل من تباين الاشياء •

4.5 توصيات اللجنة الدولية للاضاءة

لقد وضعت اللجنة الخاصة باضـــاءة الشوارع والتابعة للجنـــة الـدولية للاضـــاءة (International Commission for Illumination — CIE) **توصيـات** دولية للمعايير التى يجب أن تطبق بالنسبة لاضاءة الشوارع ويعطى الجدول 1.5 ملخصا لهذه التوصيات •

وجدير بالذكر أن المواصفات الاهلية لبعض البلاد تضع القيود على البهر عن طريق تعيين شدة اضاءة الفوانيس فى اتجـــاهات محددة • ولذلك يتم تصنيف الفوانيس على حسب توزيعها للضوء :

جدول 1.5 توصيات الـ CIE بالنسبة لاضاءة الشوارع

نوع الشارع	طبيعة المنطقة المحيطة بالشارع	متوسط النصوع عند سطح الشارع La (cd/m^2)	معامل الانتظام الاجمالى Uo	معامل الانتظام الطولى UL	درجة البهر المزعج	البهر المعوق TI%
طريق عام سريع	أى كانت	2	0.4	0.7	6	10
طريق اتصال رئيسى	نيرة	2	0.4	0.7	5	10
	مظلمة	1			6	10
طريق دائرى	نيرة	2	0.4	0.5	5	20
طريق رئيسى	مظلمة	1			6	10
طريق تجارى بوسط المدينة	نيرة	2	0.4	0.5	4	20
طرق فرعية موصلة بين الطرق الرئيسية أو التجارية وشوارع فى المناطق السكنية	نيرة	1	0.4	0.5	4	20
	مظلمة	0.5	0.4	0.5	5	20

- فانوس قطع cut-off (CO)
- فانوس شبه قطع semi-cut-off (SCO)
- فانوس بدون قطع non-cut-off (NCO)

ويبين الجدولين 5 — 2 و 5 — 3 التصنيف التابع لل CIE* والتصنيف التابع للمقاييس الامريكية

جــدول 5 — 2 تصنيف الفوانيس حسب ال CIE

نوع الفانوس	اتجاه القيمة العظمى لشدة الاضاءة	أقصى قيمة مسموح بها لشدة الاضاءة فى الاتجاه :	
		90^0	80^0
قطــــع	$0 — 65^0$	10 cd/1000 lm*	30 cd/1000 lm
شبه قطع	$0 — 75^0$	50 cd/1000 lm*	100 cd/1000 lm
بدون قطع		1000 cd	

*بحد أقصى 1000 cd أيا كان الفيض الضيائى

جــدول 5 — 3 تصنيف الفوانيس حسب المواصفات الامريكية (IES)

نوع الفانوس	أقصى قيمة مسموح بها لشدة الاضاءة فى الاتجاه	
	90^0	80^0
قطــــع	25 cd/1000 lm	100 cd/1000 lm
شبه قطع	50 cd/1000 lm	200 cd/1000 lm
بدون قطع	———	———

5.5. توزيع الفوانيس

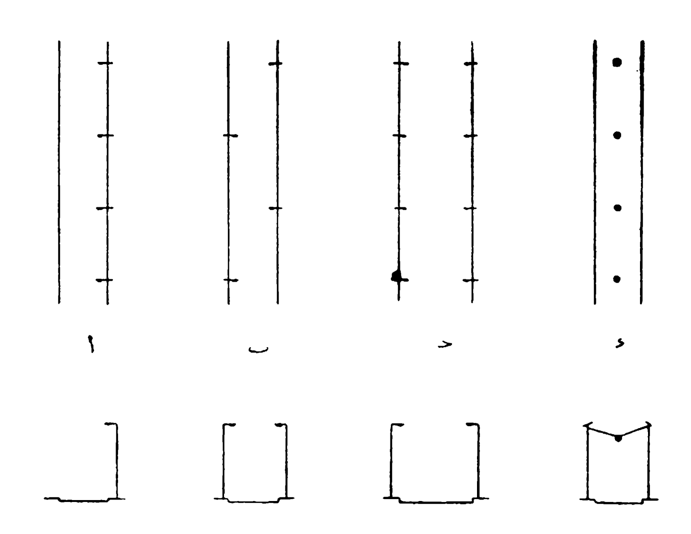
أولا : الشوارع الثنائية الاتجاه : يمكن اضاءة هذه الشوارع باحدى النظم الاربعة المبينة فى الشكل (5 — 4)

---

* رغم أن هذا التصنيف قد ألغى من جانب ال CIE الا انه لا يزال معمولا به فى كثير من البلاد ٠

أ) جميع الفوانيس على جانب واحد من الشارع • ويستخدم هذا النظام فقط اذا كان عرض الشارع مساويا أو أقل من علو الفانوس •

ب) الفوانيس موضوعة على جانبى الشارع بنظام خلافى • ويستخـدم أساسا عندما يكون عرض الشارع بين مرة ومرة ونصف علو الفانوس •



شكل 5 — 4. النظم المختلفة لتوزيع الفوانيس

ج) الفوانيس موضوعة على جانبى الشارع بنظام متقابل • ويستخـدم اذا كان عرض الشارع أكثر من مرة ونصف علو الفانوس •

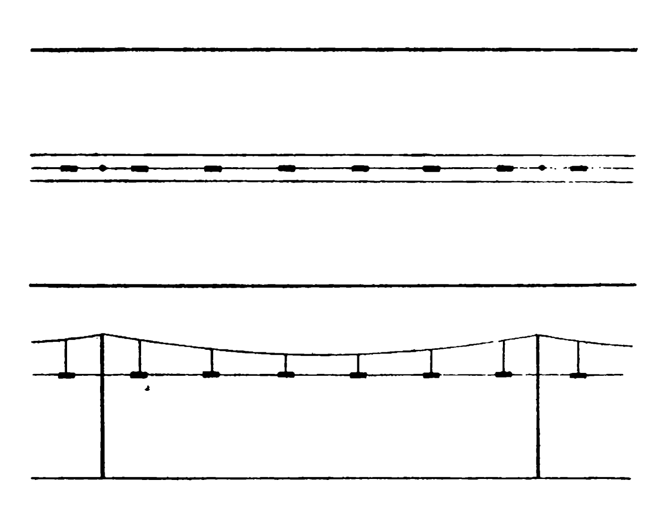
د) الفوانيس معلقة فوق منتصف الشارع • ولا يستخدم الا فى الشوارع الضيقة جدا التى بها مبانى على الجانبين حيث يتم تعليق الفوانيس على كابلات مثبتة على جدران المبانى •

ثانيا : الشوارع المزدحمة والطرق السريعة : بالاضافة الى النظم (أ) ـ (ج) المشار اليها أعلاه يمكن أضاءة هذه الشوارع بثلاثة نظم اضافية :

ه) العواميد بها فوانيس مزدوجـــة وموضوعة فى الجزيرة التى تفصل حارات الذهاب عن حارات الاياب ويمكن اعتبار هذا النظام مماثلا للنظـام (أ) بالنسبة لكل من الاتجاهين •

و) بالاضافة الى الفوانيس الموضوعة فى وسط الجزيرة تضاف فوانيس بنظام متقابل على جانبى الشارع ويمكن اعتبار هذا النظام مماثلا للنظام (ب) بالنسبة لكل من الاتجاهين ٠

ز) نظام سلسلى : تعلق الفوانيس من كابل صلب يمتد فوق الجزيرة التى تفصل الشارع (شكل 5 — 5) ومحمل على عواميد متباعدة من 60 الى 90 متر بعضها عن بعض ٠ أما التباعد بين الفوانيس نفسها فيتراوح بين 10 20 متر ٠



شكل 5 — 5 النظام السلسلى لتوزيع الفوانيس

ثالثا : التقاطعات والملتقيات : يجب أن تكون التقاطعات والملتقيات ظاهرة بوضوح من على بعد ويجب أيضا أن تكون مضاءة بطريقة تساعد السائق على اختيار المخرج الذى يريده ٠ ويمكن تحقيق ذلك عن طريق :

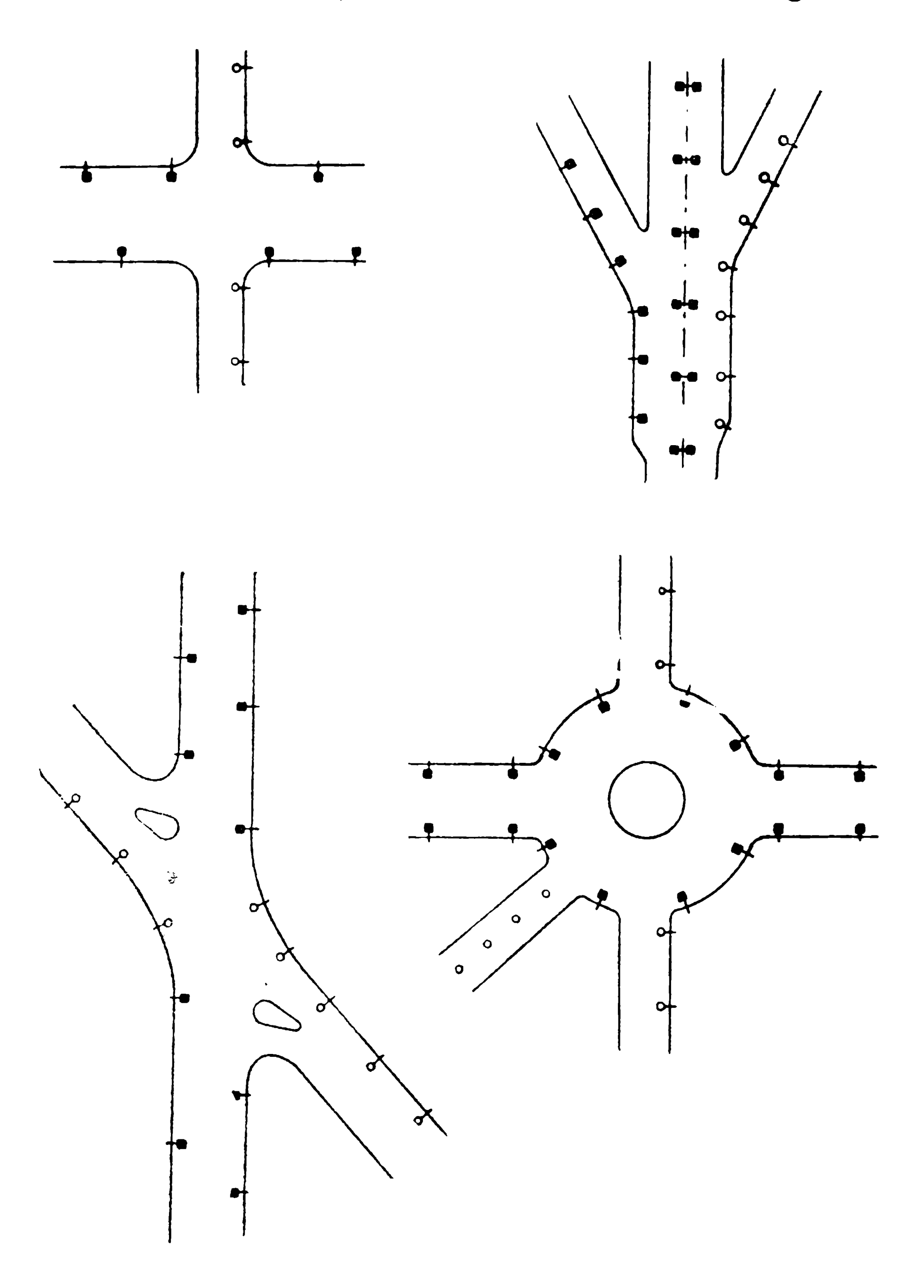
أ) رفع مستوى الاضاءة (الاستضاءة أو النصوع) ٠

ب) استخدام ألوان مختلفة للاضاءة ٠

ج) استخدام فوانيس من أنواع مختلفة وبنظم مختلفة للشوارع الرئيسية والشوارع الثانوية (شكل 5 — 6) ٠

د) الاضاءة باستخدام العواميد المرتفعة (أكثر من 20 متر) ٠ ويفضل

استخدام هـــذه الطريقة بالنسبة للملتقيات المعقــدة فى الشوارع الرئيسية والطرق السريعة • وباستخدام عدد صغير من كشافات الاضاءة الغــامرة ذات المصابيح القوية يمكن الحصول على درجة انتظام للاضــــاءة تقرب من الضوء



شكل 5 — 6. استخدام فوانيس مختلفة للتوجيه الابصارى عند التقاطعــات

الطبيعى • ويجب أن يتم التصميم بدقة كبيرة بالنسبة لاختيار أماكن العواميد ونوع الاضاءة الغامرة •

رابعا : المنحنيات : تعتمد المسافة بين الفوانيس عند أى منحنى على نصف قطر المنحنى • كلما صغر نصف القطر كلما ضاقت هذه المسافة التى تتراوح ، بصفة عامة ، بين نصف وثلاثة أرباع المسافة بين الفوانيس فى الشـــارع المستقيم • واذا كان عرض الشارع أقل من مرة ونصف ارتفاع الفانوس يجب وضع الفوانيس على المنحنى الخارجى وعلى جانب واحد فقط • أما اذا زاد عرض الشارع عن ذلك فيجب استخدام فوانيس على الجانبين بنظام متقـابل ويجب تجنب استخدام النظام الخلافى حيث يؤدى ذلى الى توجيه ابصـارى ردىء •

6.5 تصميم الاضـاءة

مما لا شك فيه أن موضوع تصميم اضـــاءة الشوارع ليس بالسهل • فالمطلوب من مهندس الاضاءة هو ترجمة المواصفات الاضائية الى تصميمـات هندسية عن طريق اختيار نوع الفانوس وارتفاعه عن سطح الشارع وتبـاعد الفوانيس بعضها عن بعض وذلك بالنسبة لشارع له عرض معين ونوعية سطح معينة • وباستخدام الحسابات للتصميم يمكن الحصول على قيم لمعايير جودة الاضاءة مثل التى وضعتها الـ CIE. • وقد يحتاج الامر عدة محاولات بالحساب حتى يمكن التوصل الى التصميم الامثل الذى يحقق المواصفات المطلوبة•وحيث أن الحساب المناسب ليس فى متناول يد كل مهندس ، فهناك طرق أخرى وان لم تكن فى دقة الحساب الا أنها تعطى اضاءة مقبولة جدا وتفى بالمواصفات المطلوبة • وسوف نوضح فيما يلى هذه الطرق •

يمكن القـــول أن المعيارين الاساسيين اللذين يؤثران تأثيرا كبيرا على تصميم اضاءة الشوارع هما سلامة المرور وأمانة المشاة • وتؤخذ أيضا العوامل الاتية فى الاعتبار :

- المنطقة التى يمر بها الشارع •
- نوع الشارع •
- نوع الرصف للشارع •

- احصائيات الجرائم والسرقات ومتطلبات الامن ٠
- نوع الرصف للشارع ٠

وعند تصميم الاضاءة لشارع معين يجب معرفة البيانات الاتية :

أ) بروفيل الشارع ٠

ب) متوسط الاستضاءة عند سطح الشارع أو نصوع سطح الشارع نفسه٠

ج) درجة انتظام الاضاءة المطلوبة ٠

د) درجة البهر المسموح بها ٠

هـ) مدى التوجيه الابصارى الذى يجب توفيره ٠

وقبل بدء التصميم يجب الحصول (من الصانع) على البيانات التخطيطية الاتية لكل نوع من أنواع الفوانيس التى سوف تستخدم فى التصميم :

أ) منحنيات الايسولوكس (خطوط تساوى الاضاءة) وهى تستخدم لايجاد توزيع الاستضاءة على الشارع ٠

ب) رسم بيانى لعامل الانتفاع (utilization factor) η وهو يستخدم لايجاد القيمة المتوسطة للاستضاءة ٠

ج) منحنيات انتاجية النصوع (luminance - yield) وهى تستخدم لايجاد القيمة المتوسطة لنصوع سطح الشارع ٠ وحيث أن النصوع يختلف باختلاف الطبيعة العاكسة لسطح الشارع وباختلاف موضع المراقب لذلك توجد عدة منحنيات لانتاجية النصوع ٠

1.6.5 حساب الاستضاءة عند نقطة باستخدام منحنيات الايسولوكس

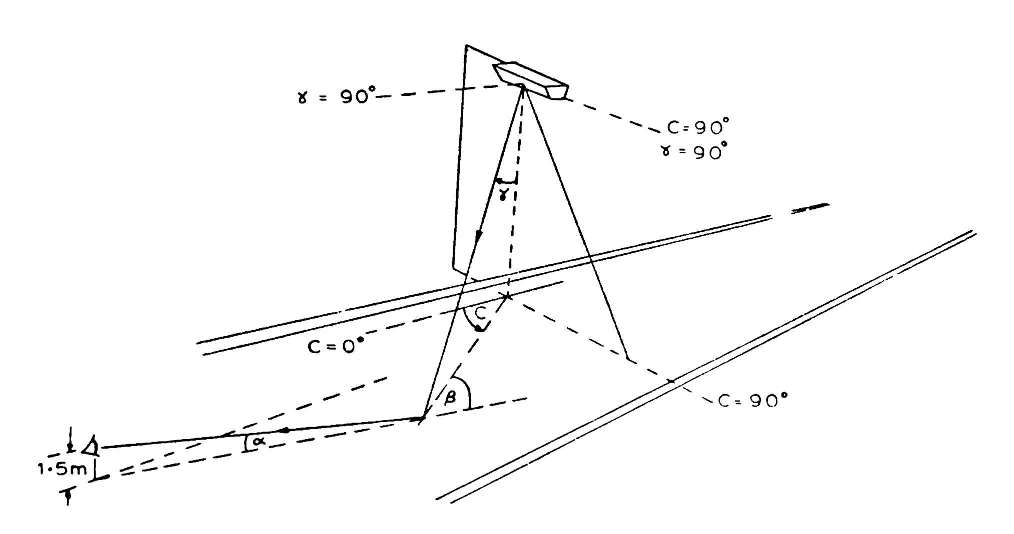
الاستضاءة عند أى نقطة P على سطح الشارع (شكل 5 — 7) هى

$$Ep = \sum \frac{I(\gamma, C)}{h^2} \cos^3\gamma \qquad (1-5)$$

حيث $I(\gamma, C)$ = شدة الاضاءة فى اتجاه النقطة P

h= ارتفاع المصباح عن سطح الشارع

وباستخدام هذه المعادلة يمكن حساب الاستضاءة عند نقط مختلفة على سطح الشارع • واذا وقعت هذه النقط على رسم الشارع ثم تم توصيل جميع النقط المتساوية الاضاءة نحصل على منحنيات الايسولوكس • ومنحنيات الايسولوكس للفوانيس المختلفة يتم اعدادها بواسطة الحاسب الالكترونى ويبين الشكل (5 — 8) مجموعة من هذه المنحنيات لفانوس معين • ويلاحظ أن الابعاد على المحاور معطية بدلالة ارتفاع الفانوس عن سطح الشارع (h) وأن قيم الاستضاءة قيم نسبية أى أن العدد المبين على كل منحنى يمثل قيمة الاستضاءة كنسبة مأوية من أكبر استضاءة يعطيها الفانوس •



شكل 5 — 7.

ويتم ايجاد القيمة المطلقة للاستضاءة عند نقطة ما من العلاقة

$$E_P = E_r\ a\ n\ \phi / h^2 \qquad (2 — 5)$$

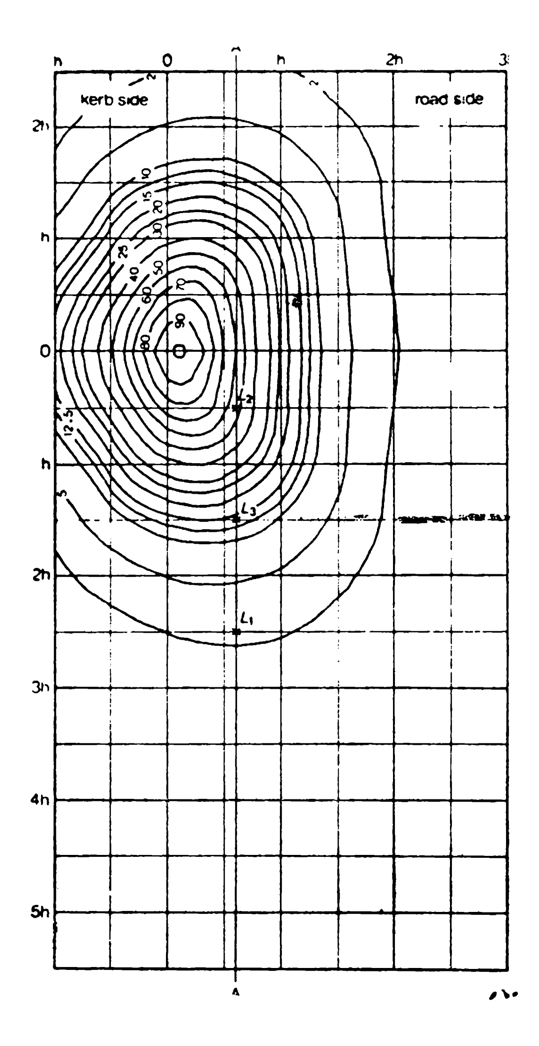
حيث E_r = الاستضاءة النسبية عند النقطة

a = معامل خاص تتحدد قيمه على حسب نوع الفانوس المستخدم تعطى قيمته فى أسفل شكل الايسولوكس الخاص بكل فانوس •

ϕ = الفيض الضيائى للمصباح •

n = عدد المصابيح فى كل فانوس ·

h = ارتفاع الفانوس عن سطح الشارع ·



شكل 5 — 8. منحنيات الايزولوكس

مثـــال I :

فى الشارع المبين فى الشكل (5 — a 9) الفوانيس تعلو 10 متر عن سطح الشارع وكل فانوس به مصباح فيضه الضيائى 40000 لومن ومنحنيات الايسولوكس للفانوس هى المبينة فى الشكل (5 — 8) المطلوب ايجاد الاستضاءة

عند النقطة P على سطح الشارع ($a = 0.187$). ونبـدأ بتحـديد بعـد النقطـة P عن محور صف الفوانيس بدلالة علو الفوانيس وهو 0.6 h ثم نرسم الخط AA على رسم الايسولوكس كما هو مبين على الشكل ونوقع على هذا الخـط النقـــاط L_1 , L_2 , L_3 التى تمثل المسافة بين النقطة P والمحور المستعرض لكل فانوس أى

$$L_3 = 15 \text{ m} = 1.5 \text{ h} , L_2 = 5\text{m} = 0.5 \text{ h} , \; L_1 = 25\text{m} = 2.5 \text{ h}$$

ونحدد من الشكل قيمة الاستضاءة النسبية عند هذه النقاط ،

$$E_3 = 13 \%, E_2 = 53\% , E_1 = 3\%$$

اذا فالاستضاءة الكلية النسبية عند P هى

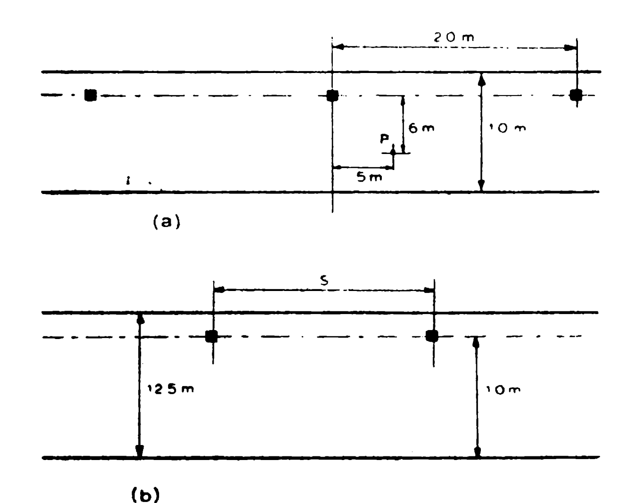
$$E_T = 0.69 \text{ Emax}$$

وحيث أن

$$\text{Emax} = \mathbf{a}\, \phi \; /h^2 = 74.8 \text{ lux}$$

فالاستضاءة الفعلية عند p هى

$$E_P = 0.69 \times 74.8 = 51.6 \text{ lux}$$



شكل 5 — 9

مثـــال 2 :

المطلوب ايجاد أقصى تباعد ممكن للفوانيس بالنسبة للشارع المبين فى الشـــكل (5 — 9 b) بحيث لا يقل انتظام الاستضاءة (Emin/Emax) عـــن 0.2 اذا كان ارتفاع الفوانيس 10 متر ٠

نوقع على رســـم الايسولوكس الخطين AA و BB (شكل 5 — 10) الذين يمثلين عرض الشارع بدلالة علو ا فانوس٠واذا فرضنا أن المسافة بين فانوسين متتاليين هى s فمن الواضح أن أقل استضاءة ستكون عند منتصف هذه المسافة وأن قيمها يجب أن لا تقل عن 10% من الاستضاءة القصوى ٠ وبالرجوع الى رسم الايسولوكس نجـــد أن منحنى الـ 10% يقطـــع الخطين AA و BB عند النقطتين a و b ٠ اذا فان نصف المسافة بين الفانوسين هى المسافة بين المحور المستعرض للفانوس وأقرب هاتين النقطتين له أى النقطة b فنجد أن

$$s/2 = 1.5\ h$$

$$s = 3.0\ h = 30\ \text{meters.}$$

2.6.5 حساب القيمة المتوسطة للاستضاءة بواسطة عامل الانتفاع

يمكن ايجاد القيمة المتوسطة للاستضاءة بالنسبة لشارع مستقيم طـوله لا نهائى من المعادلة الاتية :

$$E' = \eta\, \phi\, n/ws \qquad (3 - 5)$$

n = عدد المصابيح فى الفانوس الواحد ٠

Φ = الفيض الضيائى للمصباح ٠

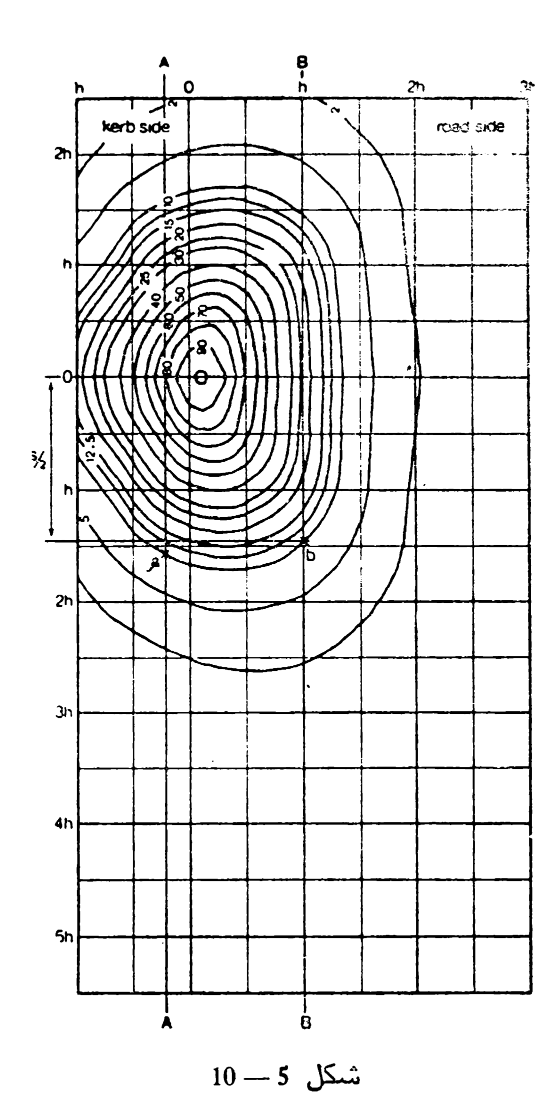
η = عامل الانتفاع ٠

w = عرض الشارع ٠

s = تباعد الفوانيس بعضها عن بعض ٠

وفى اضاءة الشوارع يعرف عامل الانتفاع بأنه النسبة بين الفيض الفعلى الذى يصل الى الشارع وبين الفيض الخارج من الفانوس ٠

$$\eta = \Phi_u/\Phi$$



شكل 5 — 10

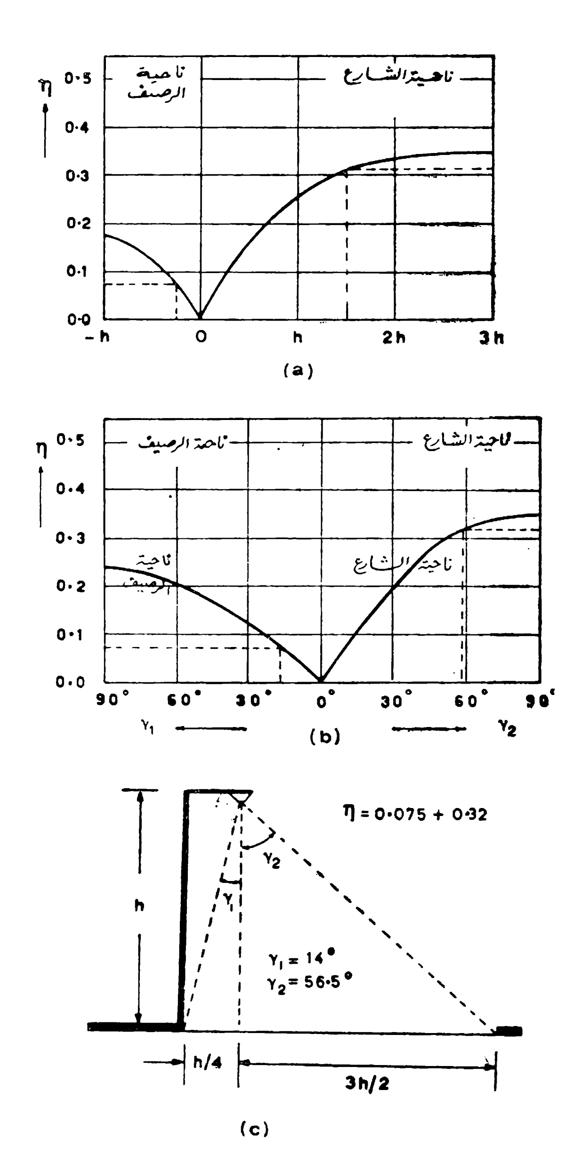
والرسم البيانى لعامل الانتفاع لفانوس معين يعطى على شكلين :

أ) كدالة من الابعاد العرضية مقاسة من المحور الطولى للفانوس الى كل من الرصيفين (شكل 5 — 11 a)

ب) كدالة من الزاويتين γ_1 و γ_2 (شكل 5 — 11 b)

وفى الحـــالتين يجب جمـــع قيمة عـامل الانتفـــاع من ناحية الرصيف (kerb-side) الى قيمـــة عـامل الانتفـــاع من نـاحيـــة الشـــارع (road-side)

وذلك للحصول على عامل الانتفاع الفعلى لعرض الشارع بأكمله • ويبين الشكل (5 — 11 c) أن أى من الدالتين تعطى نفس القيمة لعامل الانتفاع • والمنحنيات الاولى تعطى قيمة عامل الانتفاع لشارع له مقطع معلوم • أما المنحنيات الثانية فيمكن بواسطتها تحديد ماذا كان يمكن زيادة الانتفاع (وبالتالى زيادة متوسط الاضاءة) بتغيير زاوية ميل الفانوس δ مع الافقى •



شكل 5 — 11. منحنيات عامل الانتفاع

مثـــال 1 :

المطلوب ايجاد متوسط الاستضاءة على الحارة اليمنى والحـــارة اليسرى للشارع المبين فى الشكل (5 — 12) وذلك اذا كان الشارع مضاء بصف فوانيس على جانب واحد فقط واذا كان مضـــاء بصفين متقابلين من الفوانيس عـلى الجانبين • الفوانيس على ارتفاع 10 متر من سطح الشارع وتتدلى 2.5 متـــر نحو محور الشارع وكل فانوس به مصباح له فيض ضيائى 40000 لوكس•

أولا : الاستضاءة على الحارة اليمنى :

من الشكل (5 — 11 a) نحصل على القيم التالية لعامل الانتفاع :

$\eta\ [0 - 1.25\ h] = 0.3$

$\eta\ [0 - 0.5\ h] = 0.17$

$\eta\ [0.5 - 1.25\ h] = 0.3 - 0.17 = 0.13$

ومن المعادلة (5 — 3) نجد أن متوسط الاستضاءة هو ،

$$E' = 0.13 \times 40000/7.5 \times 30$$
$$= 23.1\ lux$$

ثانيا : الاستضاءة على الحارة اليسرى :

$\eta\ [0 - 0.5\ h] = 0.17$

$\eta\ [0 - (-0.25\ h)] = 0.075$

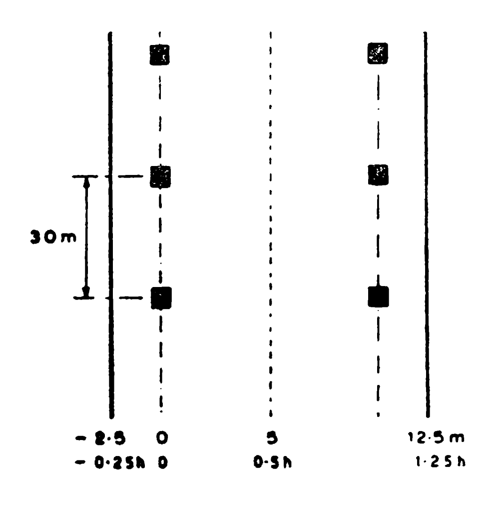
$\eta\ [-0.25\ h - 0.5\ h] = 0.075 + 0.17 = 0.245$

ومتوسط الاستضاءة ،

$$E' = 0.245 \times 40000/7.5 \times 30$$
$$= 43.5\ lux$$

وفى حالة اضاءة الشارع بفوانيس على الجانبين نجد أن ،

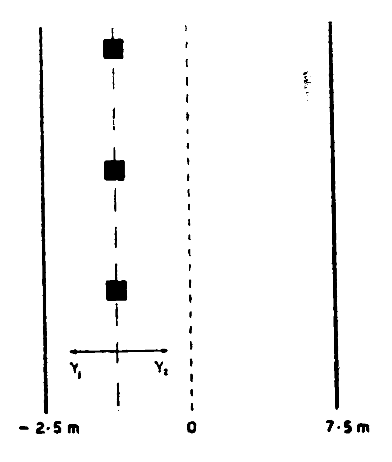
$$E' = 23.1 + 43.5 = 43.5\ lux$$



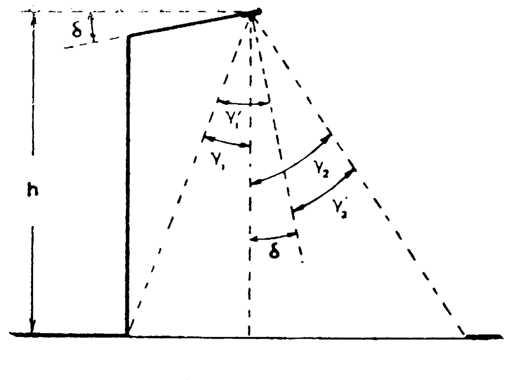
شكل 5 — 12

مثـــــال 2 :

شارع عرضه 10 متر والفوانيس على ارتفاع 10 متر وتتدلى 2.5 مـــتر نحو محور الشارع كما هو مبين فى الشكل (5 — 13) المطلوب ايجاد زاوية ميل الفانوس δ (0^0 , 5^0 , 10^0 , 15^0) التى تعطى أكبر قيمة لمتوسط الاستضـــاءة على عرض الشارع بأكمله ٠



شكل 5 — 13



شكل 5 — 14

من الواضح أن متوسط الاستضاءة سيكون أكبر ما يمكن عندما يكون عامل الانتفاع أكبر ما يمكن · فى حالة ميل الفانوس بزاوية δ نجد أن (شكل 5 — 14)

$$\gamma_1' = \gamma_1 + \delta$$

$$\gamma_2' = \gamma_2 - \delta$$

وفى المثال الحالى

$$\gamma_2 = \tan^{-1} 0.75 = 37^0 \quad , \quad \gamma_1 = \tan^{-1} 0.25 = 14^0$$

ومن الشكل (5 — 11 b) نجد القيم التالية لعامل الانتفاع :

$\delta = 0^0 :\quad \gamma_1^1 = 14^0 \quad \gamma_2^1 = 37^0$

$\eta = 0.08 + 0.23 = 0.31$

$\delta = 5^0 :\quad \gamma_1^1 = 19^0 \quad \gamma_2^1 = 32^0$

$\eta = 0.11 + 0.21 = 0.32$

$\delta = 10^0 :\quad \gamma_1^1 = 24^0 , \quad \gamma_2^1 = 27^0$

$\eta = 0.13 + 0.18 = 0.31$

$\delta = 15^0 :\quad \gamma_1^1 = 29^0 , \quad \gamma_2^1 = 22^0$

$\eta = 0.14 + 0.14 = 0.28$

من القيم المبينة أعلاه لعامل الانتفاع نستنتج أن زاوية ميل الفانوس

يجب أن تكون 5^{o} • وجدير بالذكر أن الميل الذى يعطى أكبر استضاءة قد يقلل درجة انتظام توزيع الضوء ويزيد درجة البهر •

3.6.5. حساب النصوع باستخدام جداول الانعكاس (r-tables)

يعرف النصوع عند أى نقطة على سطح الشارع بأنه

$$L = q\,E \quad cd/m^2 \qquad (4-5)$$

حيث q هو معامل النصوع لسطح الشارع • ويعتمد هذا المعامل على زاوية سقوط الضوء (γ) وعلى موقع النقطة على السطح بالنسبة لموقع الفانوس (الزاوية β) وعلى زاوية الرؤية (α) بين عين السائق وسطح الشارع (شكل 5 — 7) • وحيث أن سائق السيارة يميل الى تركيز رؤيته على مسافة تتراوح بين 60 و 100 متر الى الامام فيمكن اعتبار الزاوية α ثابتة • وقد اتفق على أن تكون قيمتها الواحد • ويمكن كتابة المعادلة (5 — 4) بالشكل التالى :

$$L = \frac{q(\beta,\gamma)\,I(C,\gamma)}{h^2}\cos^3\gamma$$

$$= r(\beta,\gamma)\,I(C,\gamma)/h^2 \qquad (5-5)$$

حيث $r = q \cos^3\gamma$

ويعرف بمعامل النصوع المختزل (reduced luminance coefficient) وتوجد جداول تعطى قيم r المناظرة لجميع القيم المحتملة لكل من β و $\tan\gamma$ هذا وقد أجريت قياسات على مئات العينات من أسطح الشوارع أمكن على ضوء نتائجها استخلاص أربعة جداول قياسية للمعامل r تعرف بالجداول R — 1 الى R — 4 بحيث يمكن تصنيف أى نوع من أنواع الاسطح ضمن أحد هذه الجداول الاربعة • والجداول منمرة على حسب درجة نعومة السطح ، فالجدول R — 1 يمت الى السطح الاكثر خشونة فى حين أن الجدول R — 4 يمت الى الاسطح الاكثر نعومة • الا أنه وجد مؤخرا أنه يمكن الاكتفاء بنوعين فقط من الاسطح القياسية بدون أن يؤثر ذلك على دقة الحسابات ولذلك فان المنظمة الدولية CIE فى صدد اصدار جدولين قياسيين فقط لقيم r يرمز لهم بجداول CI و CII •

وجدير بالذكر أنه نظراً لعدم توافر الخبرة الكافية فى تحديد معامل النصوع عندما يكون سطح الشارع مبتلا ، فان تصميم اضاءة الشوارع تتم دائمـا على أساس أن أسطحها جافة ٠

4.6.5 حساب النصوع عند نقطة باستخدام منحنيات الايسوكندلا/م٢٠

النصوع الكلى عند أى نقطة P على سطح الشارع هو مجموع قيم النصوع الناتجة من كل فانوس على حدة :

$$L_P = \sum I(\gamma, C)\, q(\beta, \gamma) \cos^3 \gamma / h^2 \qquad (6 - 5)$$

وباستخدام هذه المعادلة يمكن حساب النصوع عند نقط مختلفة على سطح الشارع ٠ واذا وقعت هذه النقط على رسم الشارع ثم وصلت جميـع النقط المتساوية النصوع نحصل على مجموعة من المنحنيات تعرف بالايسوكندلا/م٢ .(isocandela/m²)

ويتم اعداد هذه المنحنيات بواسطة الحاسب الالى وذلك لكل نوع من أنواع الاسطح القياسية الاربعة المذكورة فى الفقرة السابقة وبغض النظر عن علـو الفانوس وعلى أساس أن قيمة q هى الواحد* ٠ والقيمة التى تبين عـلى كل منحنى هى النصوع كنسبة مأوية من القيمة القصوى للنصوع النـاتج من الفوانيس ٠ ويمكن ايجاد القيمة المطلقة للنصوع من المعادلة الاتية :

$$L_P = L_r\, a\, \phi\, q_0 / h^2 \qquad (7 - 5)$$

حيث L_r = النصوع النسبى عند النقطة

a = معامل خاص تحدد قيمته على حسب نوع الفانوس المستخدم وتعطى قيمته بأسفل شكل الايسوكندلا

---

* يمكن الحصول على هذه البيانات من لوحـات البيانات الفوتومترية للفوانيس الخاصة باضاءة الشوارع
Photometric Data Sheets for Street Lighting Lanterns

Φ = الفيض الضيائى للمصباح ·

h = ارتفاع الفانوس عن سطح الشارع ·

q_0 = القيمة المتوسطة لعامل النصوع ·

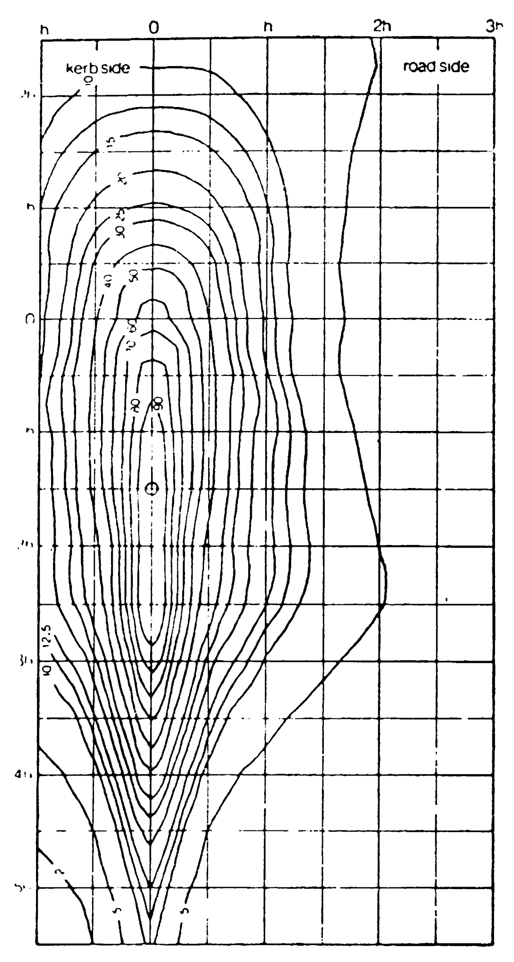
ويعطى الشكل (5 — 15) انموذجا من منحنيات الايسوكندلا/م٢ المعدة بواسطة حاسب آلى · وهى مستنتجة على أساس أن المراقب يقف فى المستوى $C = 0$ (شكل 5 — 7) وعلى بعد $10\ h$ من الفانوس · وطريقة استخدام هذه المنحنيات تتوقف على مكان المراقب كما سنوضح فيما يلى :

أ) المراقب على خط مستقيم مع صف الفوانيس

يتم اعداد رسم للشارع بحيث تحدد أبعاده بدلالة علو الفانوس عن سطح الشارع ثم توضع نسخة شفافة من رسم الايسوكندلا المناظر لنوع سطح الشارع ونوع الفانوس بحيث يتطابق المحور الطولى للفوانيس مع المحور الطولى للرسم ويتطابق موقع الفانوس مع مركز الرسم · ويمكن بعد ذلك قراءة قيمة النصوع النسبى عند أى نقطة من منحنى الايسوكندلا الذى يمر بهذه النقطة ثم حساب النصوع الفعلى من المعادلة (5 — 7).

ب) المراقب فى موقع خارج صف الفوانيس

يعتمد النصوع عند نقطة على الشارع تقع بين المراقب والفانوس على التوزيع الضوئى للفانوس وعلى موقع النقطة بالنسبة للمراقب والفانوس· أما النصوع عند نقطة تقع خلف الفانوس بالنسبة للمراقب فهو لا يكاد يعتمد على موقع المراقب وانما يعتمد أساسا على التوزيع الضوئى للفانوس· وبناء على ذلك فانه يمكن استخدام منحنيات الايسوكندلا/م٢ (التى تفترض أن المراقب على خط مستقيم مع الفانوس) بالطريقة المشار اليها فى (أ) أعلاه اذا كانت النقطة تقع خلف الفانوس · أما بالنسبة للنقط التى تقع بين الفانوس والمراقب فيجب دوران رسم الايسوكندلا بحيث يتطابع محوره الطولى مع الخط الواصل بين موقع المراقب والفانوس · وجدير بالذكر أن هذه الطريقة تعطى نتائج تتراوح دقتها بين $\pm 10\%$ بشرط ألا تزيد زاوية دوران رسم الايسوكندلا عند 5^0 ، أى أن بعد المراقب من المستوى $C = 0$ يجب ألا يزيد عن $0.875\ h$ وذلك عندما يكون واقفا على بعد $10\ h$ من الفانوس ·



شكل 5 — 15 منحنيات الايسوكندلا/م^{2}

مثـــــال :

المطلوب ايجاد قيمة النصوع عند النقطتين A و B فى المنطقة الواقعة بين فانوسين متتاليين كما هو مبين فى الشكل (5 — 16) · البيانات المعلومة هى الاتيـــة :

فيض المصباح = 40000 لومن المسافة بين المراقب و L_1 = 100 متر

علو الفانوس = 10 متر نوع الشارع = R-2

تباعد الفوانيس = 40 متر q_0 = 0.10

عرض الشارع = 15 متر a = 0.104

خطوات الحـــل :

أ) يرسم المسقط الافقى للشارع بدلالة علو الفوانيس مستخـدما نفس المقياس للرسم كمقياس منحنيات الايسوكندلا ويبين الرسم موقع المراقب (O)

ب) يوضع رسم الشارع على رسم الايسوكندلا/م٢ بحيث يتطابق موقع الفانوس L_2 مع النقطة التى تمثل أقصى نصوع ويتطابق المحـــور الطولى للفوانيس مع المحور المناظر للمنحنيات ثم تشف منحنيات الايسوكندلا عـلى رسم الشارع (المنحنيات ذات الخطوط المستمرة فى الشكل 5 — 16) •

ج) يعاد نفس الاجراء بالنسبة للفانوس L_2 مع مراعاة تطـــابق محور الرسم مع الخط L_1O ثم تشف منحنيات الايسوكندلا على رسم الشـــارع (المنحنيات ذات الخطوط المتقطعة فى الشكل 5 — 16) •

د) التأكد أن زاوية دوران المحور فى الخطوة (ج) لا تزيد عن 5^0 •

هـ) نقرأ من الرسم قيمة النصوع النسبى الناتجة من كل فانوس عند A وعنـــد B •

فعند النقطة A $Lr_1 = 100\%$ ، $Lr_2 = 1\%$

$$L_{rA} = 100 + 1 = 101\%$$

وعند النقطة B: $Lr_1 = 4\%$, $Lr_2 = 4\%$

$$L_{rB} = 4 + 4 = 8\%$$

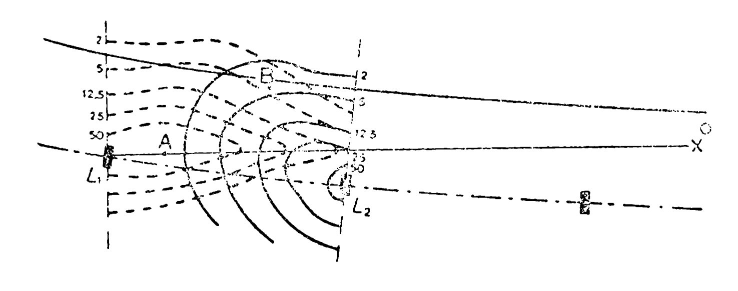
ومن المعادلة 5 — 7 نجد أن

$$L_A = \frac{101 \times 0.104 \times 40000 \times 0.1}{100 \times 100}$$

$$= 4.2 \text{ cd/m}^2$$

وأن

$$L_B = 0.33 \text{ cd/m}^2$$



شكل 5 — 16

5.6.5. حساب القيمة المتوسطة للنصوع باستخدام منحنيات انتاجية النصوع

يمكن ايجاد القيمة المتوسطة للنصوع بالنسبة لشـــارع مستقيم طـوله لا نهائى من المعادلة الاتية :

$$La = \frac{\eta_L \, q_o \, \Phi}{wsd} \qquad (8 — 5)$$

حيث

η_L = عامل انتاجية النصوع (luminance yield factor)

q_o = القيمة المتوسطة لعامل النصوع

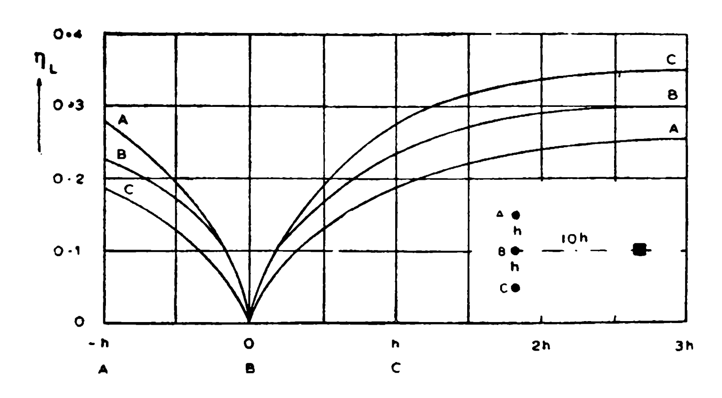
Φ = الفيض الضيائى للمصباح

w = عرض الشـــارع

s = التباعد بين الفوانيس

d = عامل الاستهلاك (depreciation factor)

ويتم تحديد عامل انتاجية النصوع من البيانات الفوتومترية الخاصة بنوع الفانوس ونوع سطح الشارع وهى تعطى على شكل ثلاثة منحنيات تبين العلاقة بين عامل الانتاجية والبعد عن الفانوس بدلالة علو الفانوس (شكل 5 — 17) وكل منحنى يصلح لموقع معين لنقطة المراقبة (A أو B أو C) كمـــا هــو مبين فى الرسم المدرج بالشكل ٠



شكل 5 — 17. منحنيات عامل الانتاجية

مثـــــال :

المطلوب ايجاد القيمة المتوسطة للنصوع بالنسبة للحارة اليمنى من الشارع المبين فى الشكل (5 — 18) اذا كانت نقطة المراقبة تقع على المحور الطـــولى للفوانيس (موقع O) واذا علم أن نوع سطح الشارع هو 2 — R وأن

$\Phi = 20000$ لومن

$h = 10$ متر

$s = 50$ متر

$q_0 = 0.10$

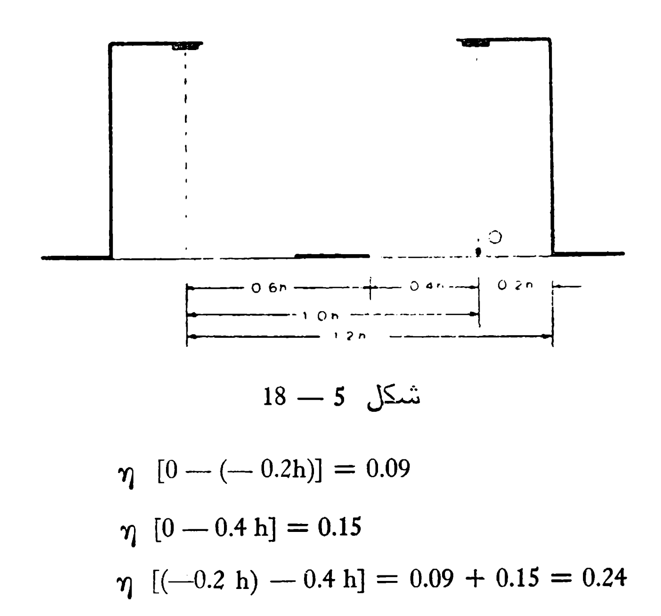
الخطوة الاولى هى ايجاد عامل انتاجية النصوع لكل صف من الفوانيس ·
الحارة اليسرى : نقطة المراقبة تقـــع على مسافة h الى يمين الصف الايسر للفوانيس وهذا معناه استخدام المنحنى C فى الشكل (5 — 17) ومنه نجد أن

$$\eta\ [0 - 1.2\ h] = 0.29$$

$$\eta\ [0 - 0.6\ h] = 0.19$$

$$\eta\ [0.6\ h - 1.2\ h] = 0.29 - 0.19 = 0.10$$

الحارة اليمنى : نقطة المراقبة تقع على محور الصف الايمن للفوانيس وهـــذا معناه استخدام المنحنى B فى الشكل (5 — 17) ومنه نجد أن



شكل 5 — 18

$$\eta\ [0 - (-0.2h)] = 0.09$$

$$\eta\ [0 - 0.4\ h] = 0.15$$

$$\eta\ [(-0.2\ h) - 0.4\ h] = 0.09 + 0.15 = 0.24$$

الخطوة الثانية هى ايجاد متوسط النصوع لكل صف من الفوانيس من المعــادلة : (8 — 5)

بالنسبة للصف الايسر :

$$La = 0.10 \times 0.10 \times 20000/50 \times 60$$

$$= 0.67\ cd/m^2$$

بالنسبة للصف الايمن :

$$La = 0.24 \times 0.10 \times 20000/50 \times 60$$

$$= 1.6\ cd/m^2$$

والقيمة المتوسطة بالنسبة للحارة اليمنى هى اذا

$$La = 0.67 + 1.60 = 2.27\ cd/m^2$$

7.5 نبذة عن المواصفات القياسية فى البلاد المختلفة

تعتبر توصيات الـ CIE لاضـــاءة الشوارع غير ملزمة أى أن الـدول الاعضاء فى هذه المنظمة ليست مجبرة أن تلتزم بها ولا أن تتبع طرق التصميم

المقترحة الا أنه من المنطقى أن يكون لهذه التوصيات صـــدى فى المواصفات الوطنية لهذه الدول • ويجدر بنا هنا أن نذكر مدى اقدام الدول المختلفـــة على تطبيق هذه المواصفات ومدى اختلاف المواصفات القياسية الوطنية والنظم العملية عن هذه التوصيات •

فمثلا نجد أن فرنسا قد تبنت توصيات الـ CIE لمستويات النصوع لانواع الشوارع المختلفة ووضعت طريقتى تصميم للحصول على هذه المستويات• الطريقة الاولى هى طريقة الـ CIE باستخدام الحاسب الآلى ويشترط حساب الاستضاءة أيضا حيث أن النصوع كمية غـــير مقبولة فى شروط التعـــاقد • والسبب فى ذلك هو أن قيمة النصوع المقاسة عند انتهاء التركيبات قد تختلف عن القيمة المحسوبة نظرا لاختلاف الخواص العاكسة لسطح الشارع عن الجداول القياسية (جداول R) ، أما قيمة الاستضاءة فهى لاتعتمد على نوع سطح الشارع• والطريقة الثانية تستخدم نسبة خـــاصة هى (متوسط الاستضاءة/متوســط النصوع) قد حددت قيمتها بالنسبة للاسطح المختلفة* • فلايجاد المسـافة بين الفوانيس التى تعطى قيمة معينة للنصوع يكفى حساب الاستضاءة باستخدام عوامل الانتفاع • ويمكن تحديد كمية البهر باختيار الفوانيس من نوع الـ CO أو الـ SCO كما يمكن التحكم الى حد ما فى انتظام الاضاءة بتحديد النسبة بين تباعد الفوانيس وعلوها • وهذه الطريقة ليست دقيقة ولكنها مفيــدة جــدا فى الحالات الاتيــة :

أ) لايجاد القيمة التقريبية لتباعد الفوانيس فى المشاريع الكبيرة وذلك قبل الاستعانة بالحاسب الآلى •

ب) فى المشاريع التى معروف فيها مسبقا عدم امكانية وضـــع الفوانيس فى الاماكن الصحيحة نظرا لتواجد أشجار أو مداخل جراجات أو وجهات عرض المتاجــر •

---

* L'Association Française de l'Eclairage: "Recommendations relatives à L'eclairage des voies publiques" (Lux, Société d'Editions de Propagande, Paris, 1978)

وتستخدم الاستضاءة كأساس لتصميم اضاءة الشوارع فى كل من المجر وأسبانيا وأمريكا الشمالية • ويبين الجدول التالى القيم الصغرى للاستضاءة التى توصى بها المواصفات الامريكية*• وهذه القيم هى القيم الصغرى بعد الاخذ فى الاعتبار جميع عوامل الفقد فى الضوء وتناقص ضوء المصابيح لقرب انتهاء عمرها • وقد تمثل هذه القيم ما بين 50 الى 60% من الاستضاءة الابتدائية •

جدول 4.5 القيم المتوسطة للاستضاءة (لوكس) طبقا للمواصفات الامريكية

نوع الشارع	طبيعة المنطقة		
	تجارية	شبه تجارية	سكنية
طريق سريع	6	6	6
طريق رئيسى	22	15	11
طريق اتصال بين طريق رئيسى وشارع عمومى	13	10	6
شارع عمومى	10	6	4
شارع جانبى (حارة)	6	4	2

وبالاضافة الى هذه القيم الدنيا للاستضاءة يجب ضمان انتظام مناسب للضوء • والمعيار للانتظام هو النسبة بين قيمة الاستضاءة المتوسطة داخل المساحة التى بين الفانوسين والقيمة الصغرى للاستضاءة داخل هذه المساحة• ويجب ألا تزيد هذه النسبة عن 3 لجميع أنواع الشوارع فيما عدا الشوارع السكنية حيث يجب ألا تزيد النسبة عن 6 •

ويتم تصنيف التوزيع الضوئى للفانوس من رسم يعد خصيصا لهذا الغرض • ويبين الشكل (5 — 19) أنموذجا لهذا الرسم وفيه تمثل نقطة الاصل موقع الفانوس • يدرج المحور الافقى بدلالة النسبة بين البعد العرضى وعلو

---

* American National Standard practice for roadway lighting', ANSI/IES Report RP-8, 1977.

الفانوس ويدرج المحور الرأسى بدلالة النسبة بين البعد الطولى وعلو الفانوس. ثم يوقع على هذا الرسم الخصائص التالية للفانوس :

أ) النقطة التى تمثل القيمة القصوى لشدة الاضاءة .

ب) المنحنى الذى يمر بجميع النقط التى تتساوى عندها شـدة الاضاءة (ايسوكندلا) وتكون قيمتها نصف شدة الاضاءة القصوى .

ويتم تقسيم الفوانيس الى ثلاث مجموعات على حسب التوزيع الرأسى لضوء الفانوس كالاتى :

أ) فانوس قصير التوزيع (short) : اذا وقعت نقطة شدة الاضاءة القصوى بين الخطين الافقيين 1 و 2.25 .

ب) فانوس متوسط التوزيع (medium) : اذا وقعت نقطة شدة الاضاءة القصوى بين الخطين الافقيين 2.25 و 3.75 .

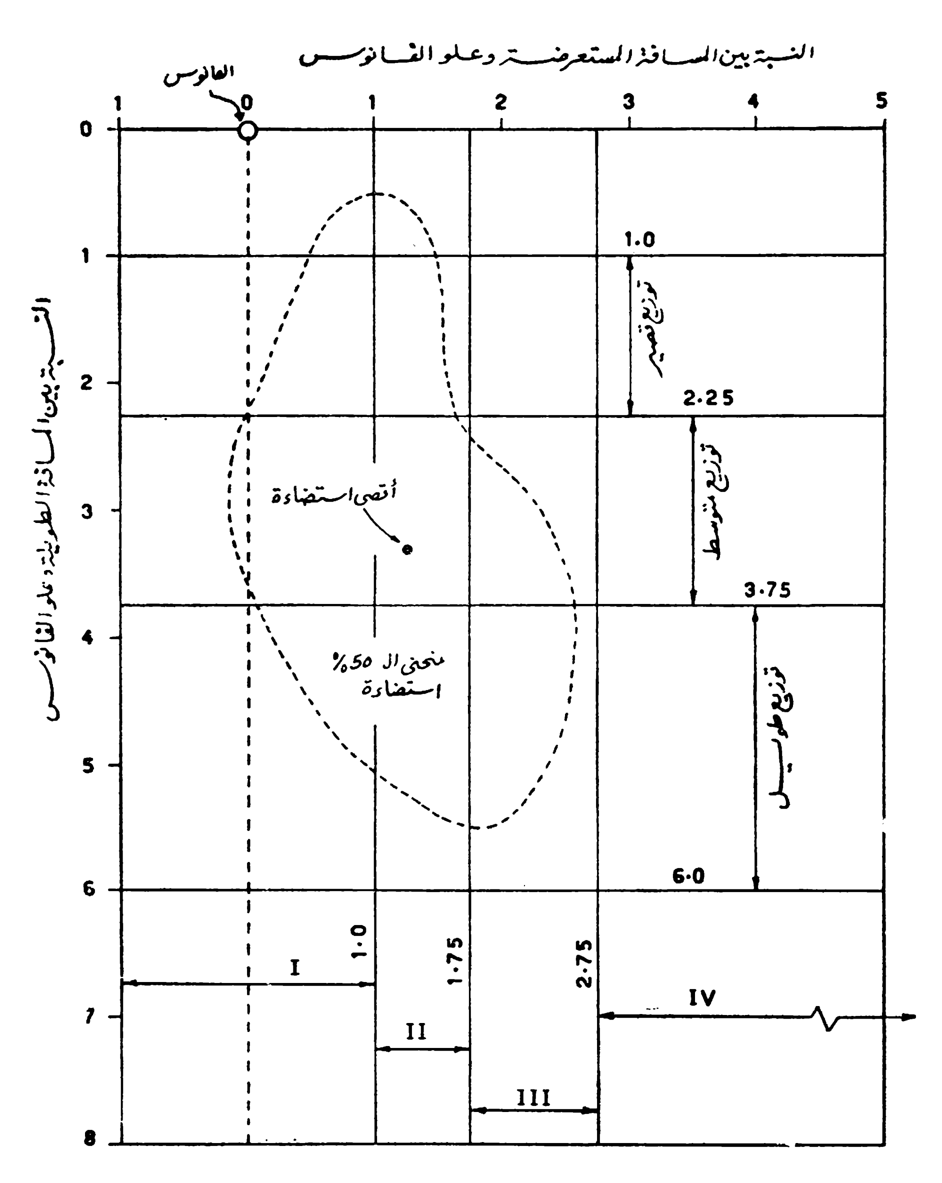
ج) فانوس طويل التوزيع (long) : اذا وقعت نقطة شـدة الاضاءة القصوى بين الخطين الافقيين 3.75 و 6.0

ويقترح ألا تزيد المسافة بين الفوانيس عن الاطـوال الاتية (بدلالة عـلو الفانوس h)

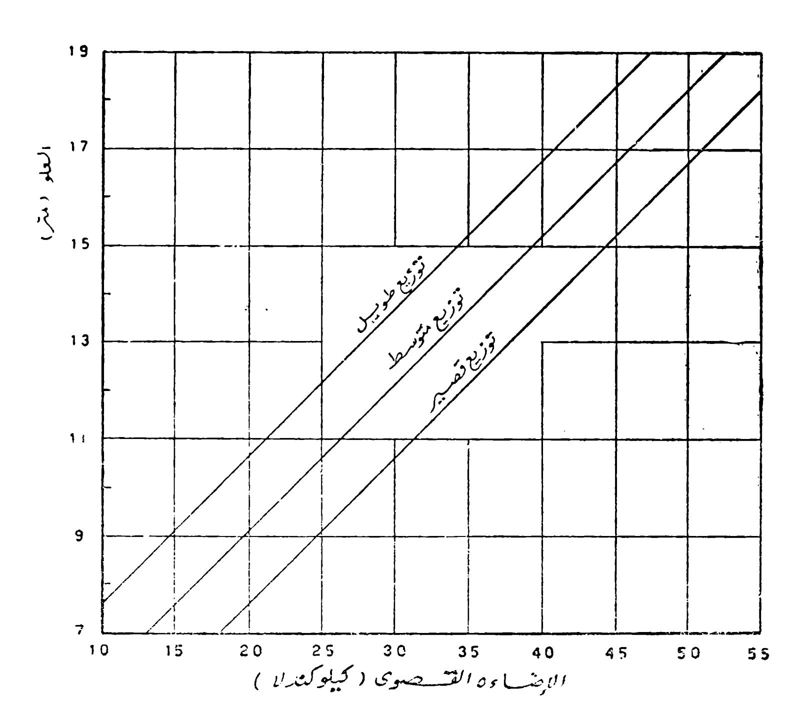
- فانوس قصير التوزيع : 4.5 h
- فانوس متوسط التوزيع : 7.5 h
- فانوس طويل التوزيع : 12.0 h

ويمكن استخدام الشكل (5 — 20) كمجرد دليل لتحديد علو الفانوس حيث يجب الاخذ فى الاعتبار تأثير تباعد الفوانيس ونظـام توزيعها على القيم الموصى بها لمستوى الاضاءة وانتظامها ودرجة البهر وذلك بغض النظر عن علو الفانوس . وجدير بالذكر أن زيادة علو الفانوس قد يحد من درجة البهر الا أن هذا ليس قاعدة ثابتة حيث أن التوزيع الضوئى للفانوس والقـدرة الضيـائية للمصباح يؤثران تأثيرا كبيرا على البهر .

وتصنف الفوانيس أيضا على حسب التوزيع الضـــوئى الجانبى كالاتى (شـــكل 5 — 19) :



شكل 5 — 19. تصنيف الفوانيس على حسب التوزيع الرأسى للضوء



شكل 5 — 20 العلاقة بين أقصى علو للفانوس وقـــدرة المصباح الخـــاص بالفانوس

طراز الفانوس	موقع الفانوس	عرض منحنى الايسوكندلا مقاسا من خط الاسناد
I	عند أو بقرب منتصف الشارع	يقع بين الخطين الرأسيين — 1 و 1
II	على جانب الشارع	فى حدود 1.75
III	على جانب الشارع	يقع جزئيا أو كليا بين 1.75 و 2.75
IV	على جانب الشارع	يزيد عن 2.75
V	عند التقاطعات	المنحنى دائرى الشكل

وبناء على هذا التصنيف يتضح أن الرســـم المبين فى الشكل (5 — 19) هو لفانوس «طراز III ـ متوسط التوزيع».

ويمكن الاستعانة بالجدول التالى كدليل لاختيار طراز الفانوس :

عرض الشارع		نظام الفوانيس	طراز الفانوس
حتى	1.5 h	على جانب واحد أو بنظام خلافى	IV - III - II
أكبر من	1.5 h	خلافى أو متقابل	IV - III
حتى	3 h	فى منتصف شارع مزدوج	III - II

والتحكم فى البهر يتم عن طريق تصنيف الفوانيس كما سبق أن ذكرنا فى الفقــرة 4.5. ففى المملكة المتحدة وهولندا وايطاليا والاتحاد السوفيتى يؤخذ بدرجة البهر المشرف والتزايدى TI كمعايير للبهر المزعج والبهر المعوق فى حين أن دولا أخرى مثل النرويج والمانيا الاتحادية مازالت تعمل بمواصفات الـ CIE المبينة بالجـدول 2.5 ٠

8.5 أنواع المصابيح المستخدمة فى اضاءة الشوارع

الاتجاه الحديث فى اضاءة الشوارع هو استخدام اما مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض (فقرة 3.3.4) أو مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالى (فقرة 4.3.4)٠ ويفضل استخدام مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض فى اضاءة الطرق السريعةحيث أن ضوءها يتميز عن أضواء المصابيح الاخرى بالصفات الاتية :

- حدة رؤية أكبر
- الانطباع بسطوع أكبر عند نفس القيمة لنصوع الشارع
- سرعة ادراك أكبر
- بهر مزعج أقل
- وقت أقصر لافاقة العين بعد اصابتها بالبهر ٠

والقدرات الاكثر استخداما فى الطرق السريعة هى 135 وات على عــلو 10 مـتر و 180 وات على علو 12 متر ٠

أما فى الشوارع التى بها سيارات ومشاه فيفضل استخـدام مصـابيح الصوديوم ذات الضغط العالى نظرا لامانتها الجيدة لنقل الالوان والقـدرات الشائع استخدامها هى 150 وات على علو 10 مـتر و 250/400 وات على علـو 12 متر ٠

المراجـــــــــع

1. Stanley, R. C., "Light and Sound For Engineers," T. Nelson and Sons Ltd. 1968, London Chapter 7,pp 144-163.
2. Hazeltine Staff Mcllwain and Dean Editors, "Principles of Colour Television," Wiley, London, 1955, Chapters 1-3.
3. Pritchard, D.C., "Lighting," Environmental Physics, Longman, London and New York 1969, Chapters 1-5.
4. Meshkov, V. V., "Fundamentals of Illumination Engineering," Mir Publishers, Moscow, 1981.
5. IES Lighting Handbook — Illumination Engineering Society, New York, 1972.
6. Interior Lighting Design by D.W. Durrant, Published Jointly by the Lighting Industry Federation Limited and the Electricity Council, London, 1975.
7. Philips Lighting Manual, N. V. Philips Gloeilampenfabrieken, 1975.
8. IEE Proceedings - A, Vol. 127, No. 3, April 1980, Special issue on Light Source Technology.
9. Low-pressure Sodium discharge lamps — review by J. W. Denneman, Proc. IEE, A, vol 128, September 1981, pp. 397-441.
10. Road Lighting - review by R. A. Hargroves, Proc. IEE, A, vol 130, November 1983, pp. 420-441.
11. "Recommendations for the lighting of roads for motorized traffic," CIE Publ. 12-2 (TC 4.6), 1977.
12. "Road Lighting lantern and installation data - photometrics, classification and performance," CIE Publ. 34 (TC 4.6), 1977
13. "Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting ', CIE Publ. 30 (TC - 4.6), 1976.
14. "Glare and uniformity in road lighting installations", CIE Publ. 31 (TC - 4.6), 1976.

الفنية للطباعة والنشر
٤٨ شارع جوده . رأس التين . الاسكندرية
تليفون ٨٠٢٢٥٠

٢,٢٥٠

مجموعة اسس شبكات توزيع القوى الكهربية

- التأريض الوقائى
- نظم التوزيع وتنظيم الجهد
- الاضاءة
- حساب الاخطاء ونظم الوقاية
- الكابلات ومحولات التوزيع